

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 621.314+621.316

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

**на тему: «Керування режимами генерування з використанням маневрених  
систем для балансування сонячних електростанцій»**

Виконав: студентка II курсу, групи ОН-381мп

\_\_\_\_\_ Котлобай Юлія Миколаївна

( прізвище, ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., ст. викладач Веремійчук Ю.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант нормоконтроль асист. Прокопенко І.Д.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра електропостачання  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.А. Попов

«    » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Котлобай Юлії Миколаївні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **«Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій»**  
науковий керівник дисертації к.т.н., ст. викладач Веремійчук Ю.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «4» листопада 2019 р. №3816-с

2. Строк подання студентом дисертації 15 грудня 2019 року

3. Об'єктом дослідження є процеси генерування режимами роботи промислової сонячної електростанції

4. Предметом дослідження є методи і способи управління режимами використання джерел альтернативної генерації, що сприяють покращенню режиму роботи локальної енергосистеми. Перелік завдань, які потрібно розробити:

Дослідити проблеми електропостачання об'єктів відновлюваних джерел енергії в умовах сучасного ринку.

Обґрунтувати доцільність використання маневрених систем балансування сонячної електростанції при впровадженні Energy Storage.

Виконати розрахункові дослідження техніко-економічних показників ефектичної роботи сонячної електростанції з впровадження Energy Storage.

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація матеріалів дисертаційної роботи за результатами досліджень

7.Орієнтовний перелік публікацій: за результатами наукових досліджень було опубліковано: з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 21-22 листопада 2019, м. Київ.

8.Консультанти розділів дисертації

*Нормоконтроль асист. Прокопенко І.Д.*

9.Дата видачі завдання 31 травня 2019 року

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Опрацювання літературних джерел стосовно теми дисертації	10.11.18-15.01.19	
2	Збір даних для магістерської дисертації	15.01.19 - 06.03.19	
3	Робота над першим розділом дисертації	06.03.19 – 12.04.19	
4	Робота над другим розділом дисертації	12.04.19 – 04.05.19	
5	Робота над третім розділом дисертації	04.05.19 – 15.06.19	
6.	Розробка стартап проекту	15.06.19 – 13.09.19	
7.	Оформлення дисертації	13.09.19 - 30. 10.19	
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	30. 10.19-10.12.19	
9.	Передзахист МД	10.12.19-15.12.19	
10.	Захист дисертації	16.12.19-20.12.19	

Студентка

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Котлобай Ю.М

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ю.А Веремійчук

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська дисертація на тему «Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій» складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 75 сторінок основного тексту, в тому числі 25 рисунків, 18 таблиць, 50 бібліографічних найменувань та 6 додатків

**Актуальність теми.** Україна є енергодефіцитною країною та імпортує близько 75% енергоносіїв. Також українська промисловість є досить енергоємною, оскільки в 3-5 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, тому Україна є надзвичайно чутлива до умов імпортування природних енергоносіїв.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни. Однак головною особливістю роботи сонячних електростанцій є погана прогнозованість їх потужності у короткостроковий період, а також значна різниця у виробництві електричної енергії у різні дні, внаслідок впливу метеорологічних умов, що зумовлює значне зростання вимог до маневрених генеруючих потужностей України. В свою чергу розвиток СЕС не знижує потреби в традиційній генерації, оскільки під час максимуму ОЕС України в СЕС проглядається високий спад генерації, що пов'язаний з погодними умовами.

На теперішній час світова практика проектування та будівництва джерел альтернативної енергетики дає нам можливість вирішити проблему з маневреності ОЕС України за допомогою систем накопичення Energy Storage

На сьогоднішній день оперативне управління режимами виробництва електроенергії в об'єднаній енергосистемі України здійснюється головним чином за рахунок використання маневрених можливостей енергоблоків теплових електростанцій генеруючих компаній (ТЕС ГК), а також шляхом зміни кількості цих енергоблоків, які знаходяться в роботі протягом доби. Очевидно, що вимушене використання енергоблоків ТЕС в якості маневрених потужностей енергосистеми неминуче пов'язане зі значними додатковими витратами на виробництво електроенергії. З огляду, на теперішню ситуацію та з інтенсивним розвитком СЕС, безконтрольна генерація електроенергії призведе до збільшення додаткових витрат енергоблоків теплових електростанцій, тому питання управління режимами генерації електроенергії сонячними електростанціями до досить актуальне.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності режиму роботи локальної енергосистеми з використанням маневрених систем балансування сонячної електростанції

Для досягнення мети дослідження вирішенні наступні задачі:

Дослідити проблеми електропостачання об'єктів відновлюваних джерел енергії в умовах сучасного ринку.

Обґрунтувати доцільність використання маневрених систем балансування сонячної електростанції при впровадженні Energy Storage.

Виконати розрахункові дослідження техніко-економічних показників ефективної роботи сонячної електростанції з впровадження Energy Storage.

**Об'єктом дослідження** є процеси генерування режимами роботи промислової сонячної електростанції

**Предметом дослідження** є методи і способи управління режимами використання джерел альтернативної генерації, що сприяють покращенню режиму роботи локальної енергосистеми.

**Наукова новизна магістерської дисертації** полягає в обґрунтуванні техніко-економічних показників маневрених систем балансування сонячної електростанції шляхом реалізації Energy Storage в її структурі, що дає можливість підвищити рівень керування режимами генерації

**Практична значимість** отриманих результатів полягає у тому, що створення та застосування запропонованого механізму управління дозволить активно розвивати в Україні «зелену» енергетику, що не тільки не шкодить рему роботи ОЕС, а ще й дарує змогу додаткового маневрування ліквідації провалів за рахунок систем накопичення. При цьому режими роботи діючих енергоблоків ТЕС значно покращиться, що позитивно вплине на економічну модель ОЕС.

**Апробація:** результати магістерської дисертації були оприлюднені на II науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ пам'яті професора Василя Миколайовича Винославського (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 21-22 листопада 2019 року, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

**Публікації:** Котлобай Ю.М. Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій// Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 21-22 листопада 2019, м. Київ

**Ключові слова:** *генерування, маневрені системи, energy storage, управління режимами*

## **ABSTRACT**

Structure and scope of work. Master's thesis on "Control of generation modes using maneuverable systems for balancing solar power plants" consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of sources used. The total volume of the work is 75 pages of the main text, including 25 figures, 18 tables, 50 bibliographic titles and 6 appendices

Actuality of theme. Ukraine is an energy-scarce country and imports about 75% of its energy. Also, the Ukrainian industry is quite energy intensive, because it is 3-5 times higher than the corresponding indicators of economically developed countries, so Ukraine is extremely sensitive to the conditions of import of natural energy.

The use of renewable energy is one of the most important areas of Ukraine's energy policy. Increasing the share of renewable energy sources in Ukraine's energy system will help to increase the diversification of energy sources, which in turn will help strengthen the country's energy independence. However, the main feature of the operation of solar power plants is the poor forecasting of their capacity in the short term, as well as a significant difference in electricity production on different days, due to the influence of meteorological conditions, which causes a significant increase in requirements for maneuvering generating capacity of Ukraine. In turn, the development of the SES does not reduce the need for traditional generation, since the maximum of the Ukrainian UES in the SES shows a high decline in generation associated with weather conditions.

At present, the global practice of designing and building alternative energy sources gives us the opportunity to solve the problem of maneuverability of the Ukrainian UES with the help of energy storage systems.

To date, the operational management of the modes of electricity production in the unified power grid of Ukraine is carried out mainly through the use of maneuvering capabilities of power units of thermal power plants of generating companies (TPP GK), as well as by changing the number of these power units that are in operation during the

day. Obviously, the forced use of TPP units as a maneuvering capacity of the grid is inevitably associated with significant additional costs for electricity generation. Given the current situation and the intensive development of the SES, uncontrolled generation of electricity will lead to an increase in the additional costs of power units of thermal power plants, so the issue of managing the modes of generation of electricity by solar power plants is quite relevant.

The purpose and objectives of the study. The aim of the dissertation is to increase the efficiency of the local power system operation with the use of maneuverable solar power plant balancing systems.

To achieve the goal of the study the following tasks are solved:

Investigate the problems of electricity supply for renewable energy facilities in today's market.

To substantiate the feasibility of using maneuverable solar power plant balancing systems when implementing Energy Storage.

Perform calculated studies of the technical and economic indicators of the efficient operation of a solar power plant for the implementation of Energy Storage.

The object of the study is the processes of generating modes of operation of an industrial solar power plant

The subject of the study are methods and methods of controlling the modes of use of alternative generation sources, which contribute to the improvement of the mode of operation of the local power system.

The scientific novelty of a master's thesis is to substantiate the feasibility of maneuvering systems of balancing solar power plant by implementing Energy Storage in its structure, which makes it possible to increase the level of control of the modes of generation

The practical significance of the obtained results is that the creation and implementation of the proposed management mechanism will allow to actively develop



in Ukraine "green" energy, which not only does not harm the operating system of the UES, but also gives the opportunity for additional maneuvering of the failure through accumulation systems. The operating modes of the existing TPP units will be greatly improved, which will have a positive impact on the economic model of the TPP.

Approbation: Speech at the Scientific and Technical Conference of IEE Undergraduates, November 21-22, 2019, Kyiv

#### Publications

Kotlobay Yu.M. Controlling Generation Modes Using Maneuvering Systems for Balancing Solar Power Plants IEEE Scientific and Technical Conference, 21-22 November 2019, Kyiv

Keywords: generation, manufactured systems, energy storage, mode management

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ</b>	<b>14</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>15</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ</b>	<b>18</b>
1.1 Аналіз підходів щодо управління режимами генерування в локальній мережі	18
1.2 Досвід управління режимами використання розосередженої генерації	19
1.3 Аналіз нормативно-правового та нормативно-технічного забезпечення функціонування маневрених систем	21
1.4 Висновки по розділу:	23
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛОКАЛЬНОГО СПОЖИВАЧА</b>	<b>24</b>
2.1 Дослідження режимів роботи сонячної енергетики в Україні	26
2.2 Аналіз впливу режимів роботи СЕС на режим роботи локальних споживачів	29
2.3 Методика визначення додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС	32
Висновки по розділу	
<b>РОЗДІЛ 3. МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ</b>	
3.1 Основна ідея створення та переваги механізму управління режимами генерації електричної енергії сонячними електростанціями	35
3.2 Загальний алгоритм функціонування механізму управління режимами генерування електроенергії сонячними електростанціями	36
3.3 Розрахунок додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС	36
3.4 Методика розрахунку та вибору систем накопичення	37
Висновки по розділу	40
	42
	57

**РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ****4.1 Опис ідеї проекту****4.2 Технологічний аудит ідеї проекту 59****4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту 59****4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту 61****4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту 62****Висновки по розділу 64****ВИСНОВКИ 64****СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 66****67****68**

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АЕС – атомна електростанція

БіоЕС – електростанція на біо-паливі

ВВП – валовий внутрішній продукт

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ВЕС – вітрова електростанція

ГАЕС – гідроакumuлюча електростанція

ГЕС – гідроелектростанція

ГІС – геоінформаційна система

ГП – головна підстанція

ЕЕС – електроенергетична система

ЕМ - електромережа

ЄС – Європейський Союз

ЗТП – замкнута трансформаторна підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

Л - лінія

ЛЕП – лінія електропередачі

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг

ОЕС – об'єднана енергосистема

ОСР – оператор системи розподілу

ПАТ – публічне акціонерне товариство

ПЛ – повітряна лінія

ПЛІ – повітряна лінія ізольована

ПрАТ – приватне акціонерне товариство

ПС – підстанція

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

РЗА – релейна захисна автоматика

РП(РУ) – розподільчий пристрій

ТЕС – теплова електростанція

ТЕЦ – теплоелектроцентр

ТМО – теорія масового обслуговування

ТП – трансформаторна підстанція

СЕС – сонячна електростанція

СМО – система масового обслуговування

СП – сполучний пункт

ЩТП – щоголова трансформаторна підстанція

ENTSO-E – європейська мережа системних операторів передавання

Smart Grid – розумна, або інтелектуальна енергетична система

## ВСТУП

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська дисертація на тему «Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій» складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 72 сторінки основного тексту, в тому числі 25 рисунків, 18 таблиць, 39 бібліографічних найменувань та 1 додаток

**Актуальність теми.** Україна є енергодефіцитною країною та імпортує близько 75% енергоносіїв. Також українська промисловість є досить енергоємною, оскільки в 3-5 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, тому Україна є надзвичайно чутлива до умов імпортування природних енергоносіїв.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни. Однак головною особливістю роботи сонячних електростанцій є погана прогнозованість їх потужності у короткостроковий період, а також значна різниця у виробництві електричної енергії у різні дні, внаслідок впливу метеорологічних умов, що зумовлює значне зростання вимог до маневрених генеруючих потужностей України. В свою чергу розвиток СЕС не знижує потреби в традиційній генерації, оскільки під час максимуму ОЕС України в СЕС проглядається високий спад генерації, що пов'язаний з погодними умовами.

На теперішній час світова практика проектування та будівництва джерел альтернативної енергетики дає нам можливість вирішити проблему з маневреності ОЕС України за допомогою систем накопичення Energy Storage

На сьогоднішній день оперативне управління режимами виробництва електроенергії в об'єднаній енергосистемі України здійснюється головним чином за рахунок використання маневрених можливостей енергоблоків теплових електростанцій генеруючих компаній (ТЕС ГК), а також шляхом зміни кількості цих енергоблоків, які знаходяться в роботі протягом доби. Очевидно, що вимушене використання енергоблоків ТЕС в якості маневрених потужностей енергосистеми неминуче пов'язане зі значними додатковими витратами на виробництво електроенергії. З огляду, на теперішню ситуацію та з інтенсивним розвитком СЕС, безконтрольна генерація електроенергії призведе до збільшення додаткових витрат енергоблоків теплових електростанцій, тому питання управління режимами генерації електроенергії сонячними електростанціями до досить актуальне.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності режиму роботи локальної енергосистеми з використанням маневрених систем балансування сонячної електростанції

Для досягнення мети дослідження вирішенні наступні задачі:

Дослідити проблеми електропостачання об'єктів відновлюваних джерел енергії в умовах сучасного ринку.

Обґрунтувати доцільність використання маневрених систем балансування сонячної електростанції при впровадженні Energy Storage.

Виконати розрахункові дослідження техніко-економічних показників ефективної роботи сонячної електростанції з впровадження Energy Storage.

**Об'єктом дослідження** є процеси генерування режимами роботи промислової сонячної електростанції

**Предметом дослідження** є методи і способи управління режимами використання джерел альтернативної генерації, що сприяють покращенню режиму роботи локальної енергосистеми.

**Наукова новизна магістерської дисертації** полягає в обґрунтуванні техніко-економічних показників маневрених систем балансування сонячної електростанції шляхом реалізації Energy Storage в її структурі, що дає можливість підвищити рівень керування режимами генерації

**Практична значимість** отриманих результатів полягає у тому, що створення та застосування запропонованого механізму управління дозволить активно розвивати в Україні «зелену» енергетику, що не тільки не шкодить рему роботи ОЕС, а ще й дарує змогу додаткового маневрування ліквідації провалів за рахунок систем накопичення. При цьому режими роботи діючих енергоблоків ТЕС значно покращиться, що позитивно вплине на економічну модель ОЕС.

**Апробація:** результати магістерської дисертації були оприлюднені на II науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ пам'яті професора Василя Миколайовича Винославського (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), 21-22 листопада 2019 року, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

**Публікації:** Котлобай Ю.М. Керування режимами генерування з використанням маневрених систем для балансування сонячних електростанцій Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ, 21-22 листопада 2019, м. Київ



## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ ТА ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

### **1.1 Аналіз підходів щодо управління режимами генерування в локальній мережі**

Характерною особливістю добового графіка навантаження об'єднаної енергосистеми (ОЕС) є наявність двох піків: ранкового та вечірнього, а також значне зниження навантаження в нічні години, причому коливання між максимальним та мінімальним значеннями потужності складає 15...30 % [1].

Вирівнювання графіків електронавантаження (ГЕН) сприяє підтриманню балансу електроенергії, скороченню кількості маневрових електростанцій, заощадженню паливно-енергетичних ресурсів, зменшенню втрат електричної енергії та підвищенню її якості тощо.

Характерною особливістю роботи будь-якої електроенергетичної системи є суворі відповідності обсягів виробництва електричної енергії та її споживання. Надійна енергосистема повинна безперервно забезпечувати баланс попиту і пропозиції на електроенергію шляхом оперативного покриття графіка навантаження відповідної виробленням електроенергії на генеруючих джерелах з гарантованою поставкою її в вузли споживання[2]. У разі порушення цього принципу в енергосистемі змінюються частота мережі змінного струму і розрахункові рівні напруги, що може привести до масових відключень споживачів або виходу з ладу генеруючого, передавального і розподільного обладнання та електроустановок споживачів[3].

Відомо, що енергетична галузь України в різні періоди свого існування завжди була дефіцитною.

Дефіцитність являє собою недостатню забезпеченість держави власними паливними ресурсами[4]. Якщо ж говорити про недостатність української електроенергетики, то найбільш очевидним її проявом є систематичні, так звані «віялові», відключення споживачів, які мали місце в середині 90-х років і нещодавно почали застосовуватися знову[5].

Окрім дефіциту власних паливно-енергетичних ресурсів Україна має несприятливу структуру генеруючих потужностей об'єднаної енергосистеми. Йдеться про недостатню кількість в ОЕС маневрених енергоблоків, які були б здатні швидко виходити на робочий режим з гарячого або навіть з холодного резерву, а також в широких межах змінювати величину вироблюваної ними електричної потужності[6]. З цієї причини енергосистема далеко не завжди здатна задовольнити попит споживачів на електричну потужність, який швидко і суттєво змінюється протягом доби[7].

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та покращення екологічної ситуації в країні. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни[8]. В Україні активно розвивається генерація електроенергії від сонця та вітру. Зокрема, за перший квартал 2019 року введено 861,1 МВт генеруючих потужностей, що у 5,4 раза більше, ніж за аналогічний період минулого року і на 16% більше, ніж за весь 2018 рік[9].

З огляду на інтенсивний розвиток сонячної енергетики гостро постає проблема покриття нерівномірностей добових графіків електричної енергії. Головною особливістю відновлювальної енергетики є погана прогнозованість кількості генерації, навіть в короткостроковий період, що призводить до зростання вимог до маневрених потужностей ОЕС для компенсації змін потужностей протягом доби СЕС[10]. В свою чергу розвиток СЕС не знижує потреби в традиційній генерації, оскільки під час максимуму ОЕС України в СЕС проглядається високий спад генерації, що пов'язаний з метеорологічними умовами[11].

Одна з проблем активного розвитку СЕС та ВЕС є обмеження на приєднану потужність до ОЕС, через зростання попиту на електроенергію та неготовність електропередавальних мереж до додаткових потужностей.

На території України знаходиться значна кількість не використаних земельних територій, що не підлягають сільськогосподарській обробці. Для прикладу найрозповсюдженіша проблема – виділено територію під ведення енергетики розміром  $N$  га, розмістити на цій території можливо СЕС (ВЕС) потужністю  $Y$  МВт, а технічні умови на приєднання видані на  $Y/2$  МВт[12].

Саме тому для України актуальне питання застосування Energy Storage. При обмеженні джерел генерації на видачу електроенергії  $Y/2$  МВт, можливо генерувати в ОЕС та заряджати Energy Storage протягом часу роботи СЕС (денна пора) та ВЕС (наявність повітряних мас), а в періоди відсутності генеративного палива (сонячна радіація та вітер), коли починаються провали, розряджати в мережу Energy Storage. Відповідно даний захід покриває, по-перше провали в мережі, по-друге дає змогу згладити нерівномірність генерації[13].

Ще одною перевагою використання Energy Storage є швидкість реакції на запит з ОЕС, що може не перевищувати однієї секунди від моменту ідентифікації проблеми до початку видачі в мережу.

## **1.2 Досвід управління режимами використання розосередженої генерації**

Управління розвитком енергосистем неможливо без довгострокового планування режимів. Таке планування включає визначення необхідних паливних ресурсів, умов використання гідроресурсів, режимів роботи електростанцій і мереж. Результати довгострокового планування є попередніми, в зв'язку з неповнотою інформації про очікувані навантаження і стан енергосистеми на цьому етапі, і уточнюються на наступних етапах: при короткостроковому плануванні режимів і оперативному управлінні[14].

Автоматичне керування роботою енергосистеми і, особливо управління в аварійних умовах, має важливе значення і здійснюється спеціальними засобами, до складу яких входить протиаварійна автоматика.

Загальною метою управління в електроенергетиці є забезпечення максимально економічного електропостачання споживачів при обліку збитку від можливих аварій.

Структура і принципи оперативно-диспетчерського управління.

Оперативно-диспетчерське управління енергетикою в усіх розвинених країнах здійснюється за багатоступеневою схемою.

Однак у міру розвитку енергетики все в більшій мірі проявляється тенденція централізації оперативно-диспетчерського управління національними енергосистемами, в яких енергетика знаходиться в руках приватних енергокомпаній. Централізація управління дозволяє підвищити ефективність енергетичного виробництва і сприяє вирішенню завдання забезпечення цього виробництва необхідними енергоресурсами з урахуванням що складається в країні паливної кон'юнктури. Крім того, створення центрального управління в національних енергосистемах, в ряді випадків, обумовлено включенням енергосистеми в міждержавні об'єднання[15].

Ієрархічна система оперативно-диспетчерського управління енергосистемами формувалася відповідно до основних етапів розвитку енергетики:

- зі створенням енергосистем виникла необхідність організації диспетчерських служб;
- освіту енергосистем зумовило створення ОДУ;
- при з'єднанні на паралельну роботу ОЕС потрібне створення вищого органу системи диспетчерського управління ЦДУ.

При послідовному переході від одного етапу до іншого відбувається різке ускладнення об'єкта управління, виникають нові особливості режиму, специфічні труднощі і завдання. Це вимагає розвитку наукових досліджень в галузі управління режимами, створення нових засобів оперативного управління, застосування більш досконалих розрахункових засобів для планування і аналізу режимів, підвищення рівня автоматизації управління нормальними і аварійними процесами в енергосистемах[16].

### **1.3 Аналіз нормативно-правового та нормативно-технічного забезпечення функціонування маневрених систем**

Законопроект про внесення змін до Закону України «Про ринок електричної енергії». Новий суб'єкт господарювання – оператор системи накопичення енергії (оператор СНЕ) – використовує систему накопичення електричної енергії для купівлі-продажу електричної енергії на ринку електричної енергії, та надає допоміжні послуги і є відповідальним за безпечну експлуатацію та технічне обслуговування такої системи накопичення енергії.

Ліцензуванню підлягає оператор системи накопичення енергії потужність системи (систем) накопичення енергії якого більше 5 МВт.

Оператор системи накопичення енергії зобов'язаний брати участь у балансуєчому ринку відповідно до статті 68 цього Закону, а також брати участь у ринку допоміжних послуг та надавати допоміжні послуги відповідно до статті 69 цього Закону.

#### **Оператор системи передачі**

Оператор системи передачі має право здійснювати експлуатацію системи накопичення енергії загальною потужністю до 250 МВт у випадках, коли такі пропозиція таких послуг відсутня на ринку та виключно з метою надання послуг з диспетчеризації, зокрема для забезпечення операційної безпеки, забезпечення балансування та інших заходів, спрямованих на виконання вимог цілісності системи передачі. Не використовуються для купівлі або продажу електроенергії на ринку електричної енергії

#### **Оператор системи розподілу**

Оператору системи розподілу дозволяється без погодження з Регулятором використовувати системи накопичення енергії загальною потужністю до 20 МВт та лише з метою надання послуг з розподілу електричної енергії, зокрема для забезпечення операційної безпеки системи розподілу чи інших заходів, спрямованих на виконання вимог цілісності системи розподілу. Не

використовуються для купівлі або продажу електроенергії на ринку електричної енергії;

Оператор системи накопичення енергії

Оператору системи накопичення енергії дозволяється без погодження з Регулятором використовувати системи накопичення енергії загальною потужністю до 5 МВт. Використання системи накопичення енергії загальною потужністю більше 5 МВт вимагає ліцензування.

Оператор системи накопичення енергії продає електричну енергію на ринку електричної енергії та надає допоміжні послуги

Побутові споживачі

(малі непобутові споживачі)

Побутові споживачі (малі непобутові споживачі електричної енергії) мають право на встановлення у своєму приватному домогосподарстві (господарстві) системи накопичення енергії, потужність якої обмежується величиною, дозволеною до споживання за договором про приєднання.

Мають право: продавати надлишки електричної енергії, що виробляється на власних електроустановках та / або утримується, зберігається в системах накопичення.

### **Висновки до розділу**

За результатами проведеного аналізу, встановлено що Україна має несприятливу структуру генеруючих потужностей об'єднаної енергосистеми, А саме недостатню кількість маневрених енергоблоків в структурі ОЕС, які були б здатні швидко виходити на робочий режим з гарячого або навіть з холодного резерву, а також в широких межах змінювати величину вироблюваної ними електричної потужності. З цієї причини використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України.

## **РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛОКАЛЬНОГО СПОЖИВАЧА**

### **2.1 Досвід управління режимами використання розосередженої генерації**

Керування режимом роботи будь якого джерела розосередженої генерації відбувається за допомогою системи АСКОВЕ[18]. Розглянемо її на прикладі реально працюючої сонячної електростанції.

#### **Система електропостачання власних потреб**

Основними споживачами електроенергії СЕС у період її експлуатації є споживачі:

- ПС 150/35 кВ збору потужності (ЗПК, ЗРУ-35 кВ, трансформатори 150/35 кВ);
- пост охорони №1;
- пост охорони №2;
- зовнішнє освітлення;
- система відеоспостереження.

Для розподілу навантажень власних потреб змінного струму ПС 150/35 кВ збору потужності встановлюється двосекційний щит власних потреб (ЩВП) напругою ~380/220 В з АВР на секційних вимикачах.

Щит власних потреб змінного струму встановлюються в будівлі ЗПК. Трансформатори власних потреб TN1 та TN2 встановлюються в будівлі ЗРУ-35 кВ[1].9

Живлення споживачів інверторних підстанцій передбачається від розподільних пристроїв 0,4 кВ власних потреб інверторних підстанцій.

### **Трансформатори власних потреб 35/0,4 кВ**

Для живлення ЩВП змінного струму передбачається встановлення двох сухих трансформаторів власних потреб (TN1 та TN2) напругою 35/0,4 кВ потужністю обмоток 0,4 кВ 2×400 кВА.

Трансформатор власних потреб TN1 через вимикач підключений до секції 35 кВ К1Н ЗРУ-35 кВ; трансформатор власних потреб TN2 через вимикач підключений до секції 35 кВ К4Н ЗРУ-35 кВ.

Загальнопідстанційний пункт керування (ЗПК) виконано двоповерховою будівлею розміром 15,6х48, в якій розміщено обладнання власних потреб підстанції, шафи релейного захисту, приміщення персоналу РЗА і АСУ, приміщення головного щита управління, приміщення апаратної АСУ. Для живлення пристроїв РЗА і приводів вимикачів 35 кВ передбачається установка двох акумуляторних батарей, що працюють в режимі постійної підзарядки. Щити постійного струму - 220В, власних потреб 380/220В, приймаються двосекційними. Для прокладання кабельної продукції в будівлі ЗПК передбачені кабельні канали[19].

### **Етапи введення АСКОЕ в експлуатацію**

Організацію комерційного обліку необхідно здійснювати відповідно до технічних умов приєднання до електричних мереж електроустановок з врахуванням вимог ПУЕ, Правил роздрібного ринку електричної енергії та Кодексу комерційного обліку електричної енергії[20].

Враховуючи складність реалізації Будівництва сонячної електростанції, було прийнято рішення про будівництво об'єкту в одну чергу, але двома етапами підключення до мережі 150 кВ:

I-й етап – це підключення до мережі 150 кВ за тимчасовою схемою;

II-й етап - це підключення до мережі 150 кВ за постійною схемою (після завершення реконструкції ПС 330 кВ).

Етапність підключення визначена згідно до Технічних умов.



Організація обліку електричної енергії реалізується у відповідності до будівництва об'єкту та етапів підключення до мережі 150 кВ[21].

У зв'язку з тим, що на I-му етапі підключення до мережі 150 кВ буде працювати тільки одна з двох запроектованих ліній 150 кВ, а саме Лінія 150 кВ, то на I-му етапі буде прийнято до експлуатації тільки один комерційний розрахунковий облік на межі балансової належності на Лінії 150 кВ.

Однолінійна схема I-го етапу підключення наведена в Додатку 1.

На II-му етапі, після завершення реконструкції ПС 330 кВ, буде підключено обидві ліній 150 кВ та буде прийнято в експлуатацію облік електричної енергії на обох лініях 150 кВ, окрім того буде прийнято до експлуатації облік на секційному вимикачі (Секційний вимикач 150кВ QC1F). Однолінійна схема II-го етапу підключення наведена в Додатку 2.

#### Характеристика режимів роботи

СЕС є складним технологічним об'єктом, що виробляє електричну енергію, і при цьому споживає електричну енергію. Згідно проектного рішення СЕС має декілька нормальних режимів роботи:

1) В режимі генерації – розрахункова максимальна потужність віддачі електричної енергії по двох лініях 150 кВ в сторону ПС 330 кВ складатиме 200 000 кВт (по 100 000 кВт на кожній лінії в нормальному режимі).

2) В режимі споживання – розрахункова мінімальна потужність прийому електричної енергії по двох лініях 150 кВ від ПС 330 кВ складатиме 1015,17 кВт[22].

#### Споживання електричної енергії

До складу СЕС входять наступні об'єкти, струмоприймачі яких споживають електричну енергію:

- Інверторна підстанція GSL2500MV35;
- Підстанція збору потужності (ПС 150/35 кВ);
- Пости охорони;
- Зовнішнє освітлення;
- Система відеоспостереження.

В режимах, коли відсутня або недостатня генерація, струмоприймачі кожного з об'єктів СЕС споживають електричну енергію з мереж обленерго[23].

Узагальнену величину споживання електричної енергії СЕС в цілому взято з проекту «Будівництво сонячної електростанції».

АСКОЕ СЕС повинна створюватися як дворівнева автоматизована система із централізованим керуванням і розподіленою функцією виміру:

Перший рівень – засоби вимірювання (трансформатори струму, трансформатори напруги, електронні лічильники електричної енергії) та устаткування зв'язку;

Другий рівень - сервер АСКОВЕ (основний та резервний), АРМ, устаткування зв'язку[24].

Схема функціональної структури АСКОВЕ надана в Додатку 3.

Перший рівень - рівень підстанції виконуватиме:

- вирішення завдання вимірювання параметрів комерційного обліку;
- діагностику стану засобів обліку;
- контроль вірогідності вимірів;
- довгострокове зберігання даних;
- забезпечення інтерфейсів доступу до інформації з боку зовнішніх систем.

Другий рівень – сервер АСКОВЕ СЕС виконуватиме:

- вирішення завдання автоматичного збору, діагностики, обробки й зберігання інформації з обліку електроенергії;
- автоматичного збору й обробки інформації про стан засобів вимірювання;
- автоматичну передачу даних в АСКОВЕ Головного оператора ОРЕ України та АСКОВЕ суміжних суб'єктів енергоринку.

Вимоги до точок комерційного та технічного обліку

Загальні вимоги

Облік електроенергії на СЕС організовується для визначення обсягів виробітку, споживання на власні потреби (в тому числі господарські потреби) та відпуску електроенергії кожним блоком та електростанцією в цілому, відповідно до вимог «Інструкції про порядок комерційного обліку електричної енергії»,

«Правил улаштування електроустановок», Кодексу комерційного обліку електричної енергії, Правил роздрібного ринку електричної енергії та інших нормативних документів[25].

Згідно чинних вимог, на СЕС комерційний облік електричної енергії (лічильники) повинні встановлюватись:

- на лініях усіх класів напруги, що відходять від станції згідно з актами розмежування балансової належності та експлуатаційної відповідальності сторін;

- на ОВ або ШРВ.

Лічильники технічного обліку, з вимогами як до комерційного обліку, на СЕС необхідно встановлювати:

- на трансформаторах власних потреб (ТВП);
- на інверторах (групі інверторів), в разі не встановлення на них лічильників комерційного обліку.

Вимоги до організації точок обліку електроенергії на приєднаннях 150 кВ

Класи точності лічильників електроенергії та вимірювальних трансформаторів приєднань СЕС повинні відповідати діючим вимогам. Облік електроенергії трифазного струму потрібно виконувати трифазними триелементними лічильниками[26].

Основний та дублюючий комерційні лічильники одного приєднання повинні бути одного класу точності і мати однакові функціональні можливості. Струмові кола основного і дублюючого лічильників потрібно приєднувати до різних вторинних обмоток трансформаторів струму і трансформаторів напруги.

У зв'язку з тим, що на I-му етапі підключення до мережі 150 кВ буде працювати тільки одна з двох запроєктованих ліній 150 кВ, а саме Лінія 150 кВ, то на I-му етапі буде прийнято до експлуатації тільки один комерційний розрахунковий облік на межі балансової належності на Лінії 150 кВ[27].

## **2.2 Аналіз впливу режимів роботи СЕС на режим роботи локальних споживачів**

Розвиток відновлюваної електроенергетики є одним з пріоритетів енергетичної політики України.

Це передбачає "Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2020 року".

Згідно з цим документом, Україна зобов'язалася до 2020 року виробляти 11% або 10,9 ГВт енергії з відновлюваних джерел.

"Енергетична стратегія України до 2035 року" передбачає зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у структурі виробництва електроенергії до 12% до 2025 року, що становитиме 13,1 ГВт, і 25% або 20,3 ГВт — до 2035 року.

На початку 2019 року загальна потужність ВДЕ в Україні без урахування великих ГЕС становила 2,3 ГВт або близько 4%. Досягнення зазначених амбітних цілей супроводжується необхідністю мати достатній об'єм маневрених резервних потужностей для недопущення розбалансування через небаланси об'єктів ВДЕ[28].

За даними "Укренерго", енергосистема може прийняти ще 3 ГВт без відхилень в роботі. Враховуючи темпи розвитку ВДЕ в Україні, можна стверджувати, що запуск додаткових 3 ГВт — перспектива найближчого майбутнього[29].

"Укренерго" видала до 2025 року технічних умов на приєднання удвічі більших потужностей, а кодекс системи передавання та кодекс систем розподілу забороняють обмежувати приєднання ВДЕ та надання їм технічних умов.

У такій ситуації Україна повинна забезпечити стабільність роботи енергосистеми шляхом посилення відповідальності об'єктів ВДЕ за свої небаланси, введення додаткових маневрених потужностей та створення систем зберігання енергії[30].

За законом "Про ринок електричної енергії", небаланс — це різниця для кожного розрахункового періоду між фактичними обсягами відпуску або

споживання, імпорту, експорту струму й обсягами купленої та проданої електричної енергії.

При цьому учасники ринку подають до "Укренерго" як оператора системи передавання свої погодинні графіки електричної енергії та зобов'язані їх виконувати, а в разі невиконання несуть фінансову відповідальність.

Відповідно до "Правил ринку", затверджених НКРЕКП, кожен учасник повинен стати стороною, відповідальною за баланс (СВБ). СВБ може включати одного учасника ринку або балансуєчу групу, в яку можуть увійти два і більше учасників. Об'єднання учасників здійснюється на добровільній договірній основі[32].

Між учасниками ринку, що входять до балансуєчої групи СВБ, встановлюються чіткі правила: порядок розрахунку небалансів електричної енергії у межах балансуєчої групи, фінансова відповідальність за небаланси електричної енергії, порядок повідомлення СВБ та виконання погодинних графіків учасниками групи.

Виробники електричної енергії, яким встановлений "зелений" тариф, повинні входити до балансуєчої групи виробників за "зеленим" тарифом на підставі відповідного двостороннього договору з гарантованим покупцем[33].

У такому випадку гарантований покупець є СВБ для такої балансуєчої групи. На відміну від інших балансуєчих груп, правила функціонування балансуєчої групи виробників за "зеленим" тарифом визначає НКРЕКП.

Слід наголосити, що учасники балансуєчої групи несуть фінансову відповідальність за небаланс перед своєю СВБ, а СВБ несе фінансову відповідальність перед "Укренерго" за небаланси всіх учасників своєї групи.

Вартість небалансів електричної енергії СВБ розраховує "Укренерго" для кожного розрахункового періоду доби, як це передбачено "Правилами ринку"[34].

За законом "Про ринок електричної енергії", плата за небаланси гарантованому покупцю об'єктів ВДЕ, введених в експлуатацію після квітня 2017 року, яким встановлено "зелений" тариф та які входять до складу

балансуючої групи виробників за "зеленим" тарифом, здійснюється з 1 січня 2021 року.

Вона становить 10% вартості врегулювання небалансу і поступово зростатиме щороку на 10% таким чином, що частка відшкодування гарантованому покупцю з січня 2030 року становитиме 100%. Якщо об'єкт введений в експлуатацію до квітня 2017 року, то плата за небаланси не стягуватиметься до 31 грудня 2029 року[35]..

Іншою вимогою щодо відшкодування об'єктом ВДЕ вартості небалансу гарантованому покупцю до 31 грудня 2029 року є настання умов, коли відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску струму від погодинного графіка перевищує 20% для вітру, 5% для води (без урахування великих ГЕС) та 10% — для сонця.

Якщо частка всіх суб'єктів, які виробляють електроенергію з ВДЕ, у щорічному енергетичному балансі становитиме 5% і більше, то відшкодування небалансів відбуватиметься тоді, коли відхилення фактичних погодинних обсягів відпуску електричної енергії від погодинного графіка відпуску перевищить 10% для вітру, 5% для сонця та 5% для води (без урахування великих ГЕС).

Схема компенсації небалансів об'єктами ВДЕ може бути змінена після ухвалення законопроекту 8449-д, який містить новий підхід до підтримки виробників струму з ВДЕ через проведення аукціонів з розподілу квоти такої підтримки[36].

За цим проектом, відповідальність за небаланси для ВДЕ впроваджуватиметься значно швидше, що може суттєво зменшити тягар на гарантованого покупця.

Так, повна відповідальність за небаланси об'єктів ВДЕ, яким встановлений "зелений" тариф, і тих, хто за результатами аукціону набув право на підтримку, настає тоді, коли такий об'єкт введений в експлуатацію з 1 січня 2024 року або наступного року, коли ринок електроенергії України буде визнаний ліквідним.

Це визначає Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, але не пізніше 1 січня 2024 року.

### **2.3 Методика визначення додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС**

Перед початком проектних робіт щодо нового будівництва або реконструкції або технічного переоснащення необхідно провести детальну оцінку доцільності впровадження того чи іншого заходу. При чому особливу увагу приділити саме «фінасовій» складовій. Це пояснюється тим, що не завжди технічна оцінка є вірною. Наприклад, при новому будівництві СЕС був закладений певний коефіцієнт перевантаження, який забезпечив більш ранній вихід СЕС на номінальну потужність і отримання додаткового прибутку (в порівнянні з відношенням АС/DC як 1/1 відповідно), але, як наслідок, отримуємо надлишок енергії, що генерується в пікові години генерації. Провівши технічний розрахунок з поверхневим фінансовим аналізом (ціни на обладнання та покриття затрачених коштів прибутком з продажі додаткових кВт\*год) отримали позитивний результат по доцільності впровадження запланованого заходу. Але при виконанні більш глибокого фінансового аналізу результат змінюється, адже в вводяться такі фінансові показники як: гарантії виробника, гарантії банку, відношення «equity» (капітал власних та залучених коштів), графік поставки обладнання, ризики затримання будівництва, здороження обладнання з часом відповідно кредитних зобов'язань перед інвестором, затрати щодо будівництва та експлуатації, ризики щодо гарантійних та негарантійних виходів з ладу та заміну обладнання[37]. Відповідно визначення додаткових грошових витрат проводиться в декілька етапів, кожен з якого має свою послідовність.

Також необхідно пам'ятати, що відповідно до чинного законодавства будь який вид будівництва (а це нове будівництво, реконструкція, модернізація, технічне переоснащення) потребує перерахунку МБР, ППР, розроблення підготовчих робіт, внесення змін до проекту на перепогодження в державній експертизі, що тягне за собою безліч нових ризиків та затрат[38].

У процесі розробки методики були розглянуті питання розрахунку параметрів і вибору Найбільш доцільним місця установки СНЕ для згладжування піків навантаження та регулювання напруги.

#### Згладжування піків навантаження

За рахунок вирівнювання су точного графіка електричних навантажень в «пасивних» розподільчих мережах можливо, по-перше, знизити капітальні вкладення на будівництво нових і модернізацію існуючих електромережових об'єктів, завантаження яких перевищує номінальне значення, по-друге, кількість електроенергії ТП, яка може бути пере-дана навантаженні протягом доби. Останній ефект прийнято називати «вивільнення потужності технологічного приєднання». Максимальне збільшення даного значення приймем як критерій вибору місця установки СНЕ.

Поняття «згладжування піків в навантаження» фізично полягає в збільшенні і підтримці на номінальний рівень добового завантаження мережевого електроустаткування. У період часу, коли трансформатор на ТП недовантажений, є можливість зарядити накопичувач електроенергією, підкладений на шинах 0,4 кВ ТП, зі збільшенням коефіцієнта завантаження трансформатора до одиниці.

Вибір потужності ФЕС — це пошук балансу між бажаннями та можливостями (наявні кошти, наявна площа для розміщення сонячних батарей), який регулюється декількома основними правилами.

Для сонячних електростанцій, що працюють по «зеленому тарифу», вибір потужності станції обмежується тільки наявними об'ємами фінансів та наявною площею. Слід звернути увагу, що ціна на комплектуючі досить сильно прив'язана до розміру ФЕС. Тобто питома вартість 1 кВт установленної потужності для сонячної електростанції потужністю 100 кВт буде звичайно більша, ніж для сонячної електростанції потужністю в 1 МВт.

Від даного рішення залежить подальший підхід до розрахунків, що обумовлено специфічним ставленням НЕК «Укренерго» до неліцензованих продавців електроенергії. Тобто, якщо в разі відсутності договору на «зелений»



тариф, а потужність ФЕС підібрана невірно (так, що в певний момент часу генерація енергії буде більша за її ж споживання, — так званий «реверсний перетік потужності в електромережу») та енергопостачальна компанія виявить незаконний перетік в її мережу, очікувана економія може обернутись судовою справою. Саме тому важливо чітко дотримуватись подальших рекомендацій для власних розрахунків, а для остаточних та монтажу — звертатись до спеціалістів.

Алгоритм вибору потужності сонячної електростанції:

1. Розраховуємо кількість споживаної електроенергії за рік  $E_p$  кВт\*г/рік (далі  $E_p$ );

2. При бажанні продавати надлишки енергії по зеленому тарифу ділимо  $E_p$  на середнє річне число годин максимум генерації  $N$  (1070-1200 в залежності від області) та отримуємо оптимальну потужність ФЕС  $P_{opt}$ .

$$P_{opt} = E_p / 1100, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

3. При небажанні продавати надлишки енергії по зеленому тарифу можна укомплектувати сончною електростанцію «розумною» системою контролю перетоку потужності (СКПП), яка не дозволить вашій електроенергії перетікати в загальну електромережу, або розраховувати ФЕС таким чином, щоб її генерація ЗАВЖДИ була меншою за споживання.

3.1. При використанні системи СКПП розраховуємо потужність ФЕС наступним чином: оптимальна потужність ФЕС  $P_{opt}$  складатиме 50%-60% від розрахованої в пункті 2 потужності:

$$P_{opt} = (0,5 \div 0,6) * E_p / 1100, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

3.2. У разі відмови від використання «зеленого» тарифу та системи контролю перетоку потужності потрібно розрахувати мінімальне енергоспоживання в літній сезон в період часу з 10.00 до 15.30 (далі  $E_{min}$ ) кВт\*г. Слід враховувати вихідні дні та свята, коли електроспоживання падає. Потужність ФЕС розраховуємо як

$$P_{opt} = (0,75 \div 0,85) * E_{min}, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

## **Висновки до розділу**

Як в світовій, так і в національній практиці сонячні електростанції – не новинка, масштабами підтверджується досвід Українських компаній в подібних проектах. Але технології, як і їх вартість динамічно змінюються підштовхуючи до вдосконалення рішень. Зараз це системи накопичення електроенергії – Energy Storage. Гнучкість систем накопичення дає можливість «зібрати» рішення під кожен об'єкт або проект індивідуально. З часом можливо «доростити» необхідну потужність системи. Керування режимами роботи максимально логічне (через стандартну SCADA або АСУ ТП), адже зв'язок організовано через стандартні протоколи[35].

### 3. МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

#### 3.1 Основна ідея створення та переваги механізму управління режимами генерації електричної енергії сонячними електростанціями

Основна ідея створення такого процесу полягає в тому, як саме обладнання так і програмне забезпечення для керування режимами систем накопичення може цілком самостійне рішення. Тобто може бути встановлене на вже існуючі об'єкти та інтегроване в існуючу SCADA. (рис 3.1)

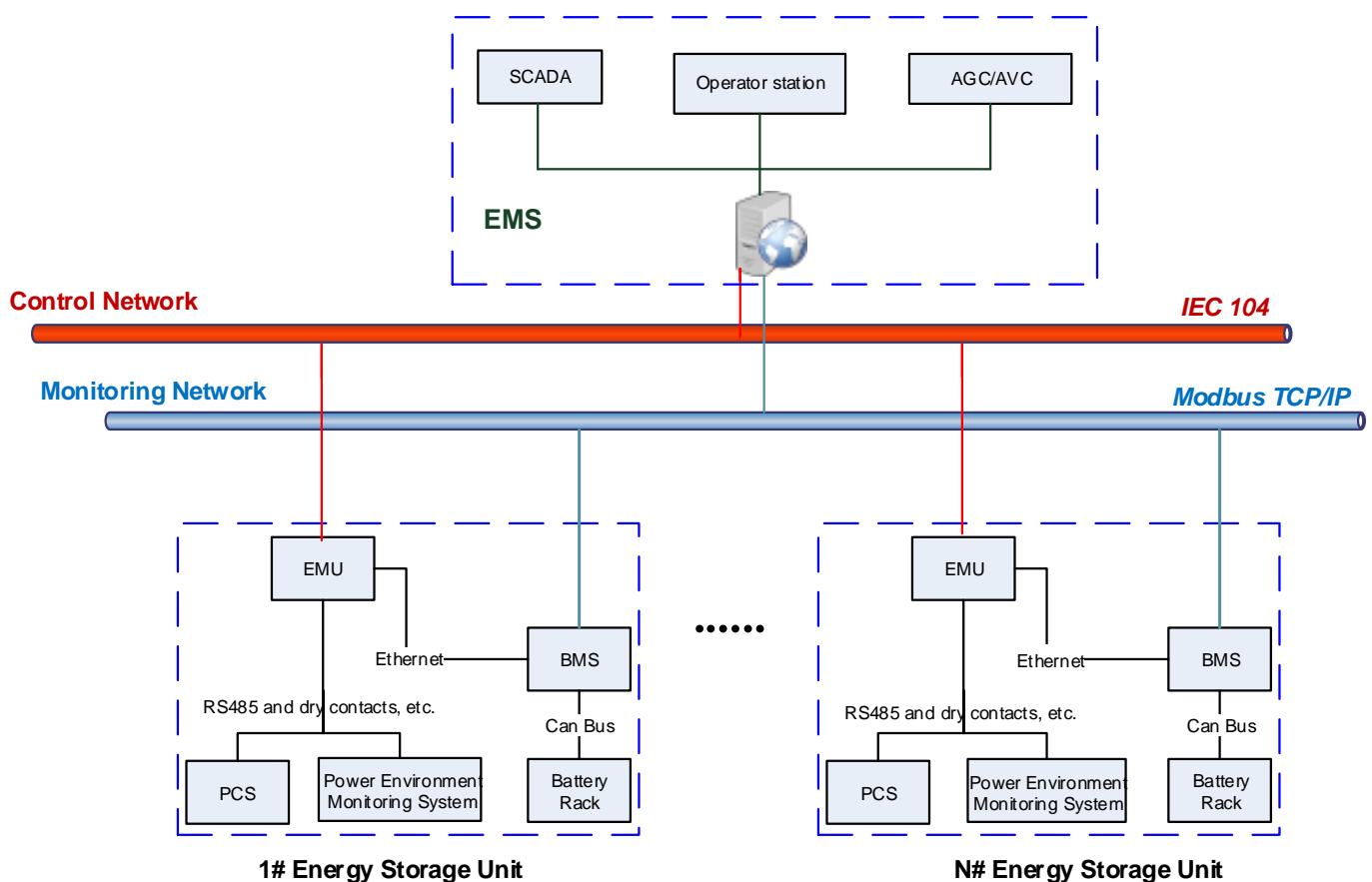


Рисунок 3.1. – Організація зв'язку моніторингу та контролю

Система управління енергією (MEMS) - це загальний термін для автоматизації планування мікромереж. Забезпечувати зняття даних в режимі реального часу для планування мікромереж, виконувати керування рішеннями планування та контроль у мікромережі, забезпечувати безпечну роботу мікромережі, покращувати якість мікромережі та покращувати економіку мікрофункціонування мережі[32]

Основні функції системи управління енергією:

- 1) Прогнозування потужності виробництва та навантаження;
- 2) Створення обґрунтованої стратегії управління заряджанням та розрядом обладнання;
- 3) Забезпечення встановлених значень потужності та напруги для кожного контролера розподіленої енергії в системі мікромережі;
- 4) Дотримання вимог теплового та електричного навантаження в системі мікромережі;
- 5) Зменшення викидів та втрат в системі;
- 6) Забезпечення максимальної ефективності роботи постачання;
- 7) Управління реактивною потужністю для підтримки рівня напруги мікромережі;
- 8) Забезпечення логічних та контрольних методів управління острівними роботами та перемиканнями у разі відмови системи мікромережі.

### **3.2 Загальний алгоритм функціонування механізму управління режимами генерування електроенергії сонячними електростанціями**

Фотоелектрична система: PV-модуль підключений до інвертора AC / DC через коробку суматора, а інвертор підключений до шини змінного струму 10 кВ через посилений трансформатор[33].

Система накопичення енергії: акумуляторні батареї розділений на дві групи і підключені до двох PCS, а потім підключений до шини змінного струму через трансформатор[34]. Перетворювач і трансформатор інтегровані в один контейнер, а акумуляторна система окремо інтегрована в інший контейнер. Наприклад кожен 500кВт PCS відповідає батареї для зберігання енергії 4МВт-год, що становить 1МВт / 8МВт-год.

На рисунку 3.2 наведена блок-схема системи:

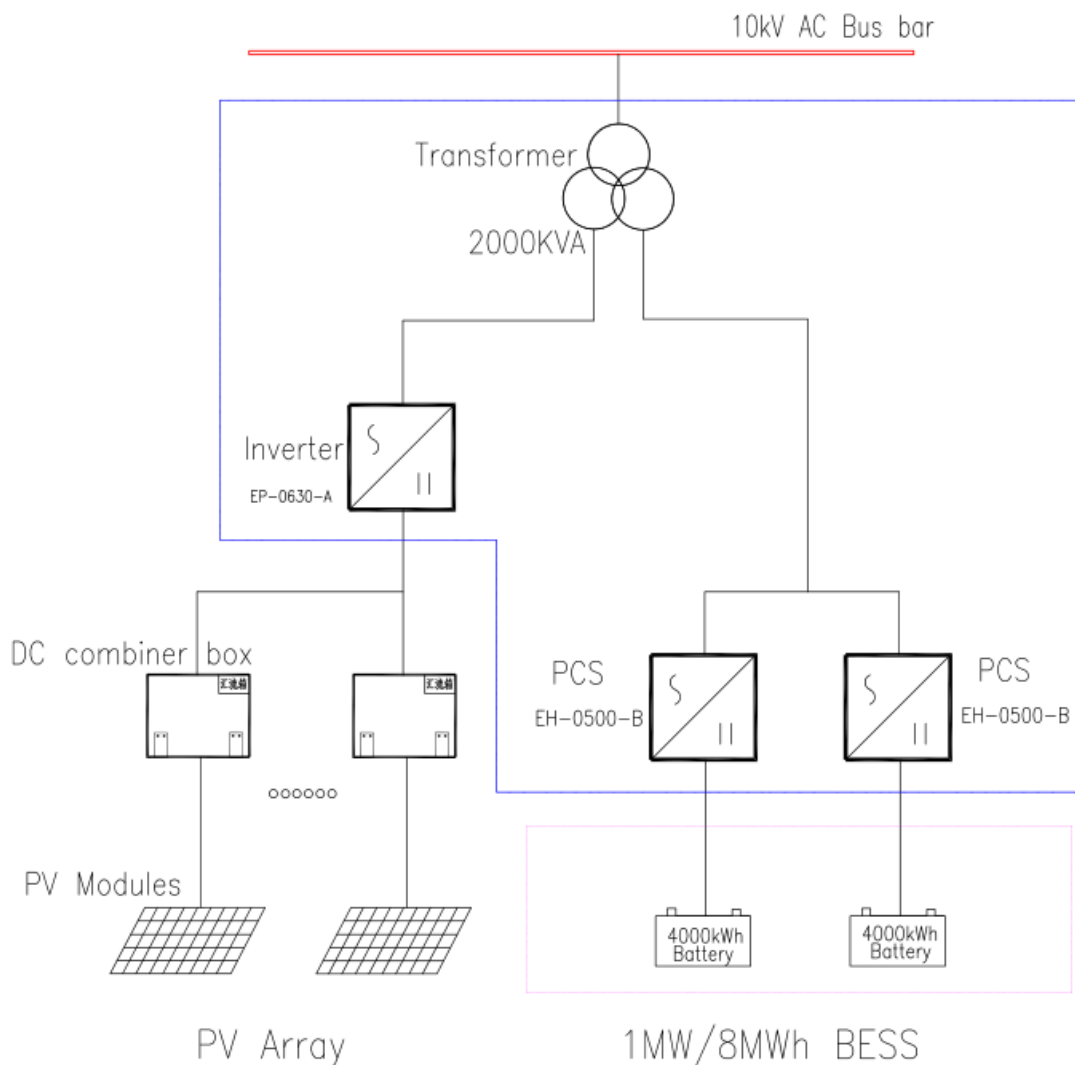


Рисунок 3.2. – Схема приєднання системи накопичення до локальної мережі.

Інтегровані два перетворювачі накопичувача енергії EH-0500-B, один інвертор EP-0630-A, трансформатор, шафу перемикавання змінного струму, шафу розподільного струму в 20-футовий контейнер. Внутрішня компоновка контейнера зображено на рис. 3.3

Система акумуляторів накопичувача енергії окремо інтегрована в контейнер. Кожен 500кВт PCS відповідає акумулятору для зберігання енергії 4 МВт · год. Кожен з двох 1000кВт-годин накопичувачів енергії інтегрований у 40-футовий контейнер, в цілому чотири 40-футові контейнери. Далі йде акумулятор енергоносіїв потужністю 2000 кВт. (рис 3.3)

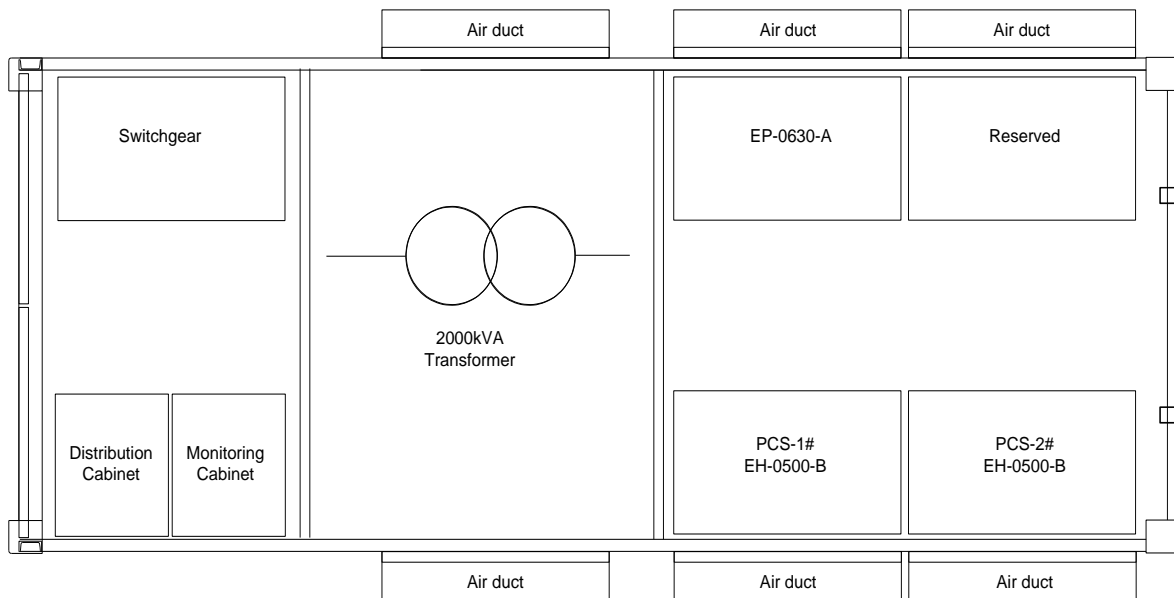


Рисунок 3.3. – Розміщення основного обладнання в контейнері

Макет контейнера зображено на рис. 3.4:

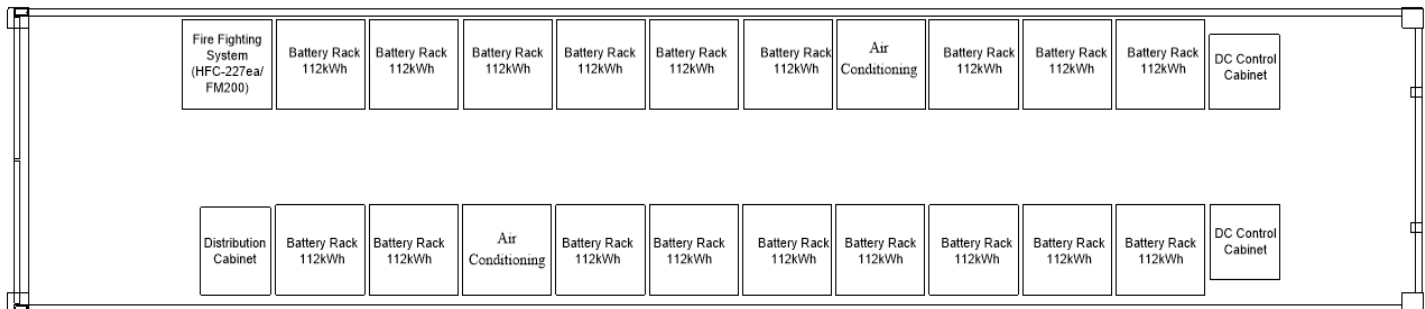


Рисунок 3.4. – Розміщення акумуляторних батарей в контейнері

### 3.3 Розрахунок додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС

На сьогодні не існує єдиного, стандартизованого розрахунку додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС, все дуже індивідуально, але можливо виділити алгоритм, по якому використовуючи особливості вже конкретного об'єкту з'явиться можливість провести подібний розрахунок[39].

Для створення подібного алгоритму створимо довільну модель СЕС для деталізації, наглядності та кращого розуміння алгоритму. Також, необхідно пам'ятати, що маніпуляції з покращення якості генерації починаються на етапі проектування. Тому проведемо моделювання декількох варіантів СЕС на різному обладнанні, щоб розуміти витрати на будівництво СЕС.

Щоб провести моделювання промислової СЕС необхідні наступні дані:

- ділянка для розміщення 100 МВт СЕС загальною площею 210 га (місцем розташування обираємо Дніпропетровську область, оскільки це найбільший за кількістю запущених за останній рік СЕС регіон України);
- центральні інверторні підстанції (ІПС) встановленою потужністю – 5 МВт (в склад таких ІПС входять РУ-1 кВ, РУ-35 кВ, трансформатор 0,4/35 кВ, модуль зв'язку та моніторингу);
- сонячні фотомодулі (ФЕМ) потужністю від 405 кВт\*пік до 440 кВт\*пік технології Half-cell (на теперішній час провідні виробники ФЕМ зосереджують свої виробничі потужності на 420-тих ФЕМ, але ринкова тенденція говорить про постійне збільшення потужності ФЕМ і найвірогідніше це будуть 440-ві та вище ФЕМ, тому включаємо їх в перелік варіантів модуляцій);
- конфігурація сонячного поля: кут нахилу -  $27^\circ$ , крок – 9м (найдоцільніша конфігурація для Дніпропетровського регіону).

Перший крок – це побудова моделі в спеціалізованому ПО. Провідні компанії користуються різними ПО, але найрозповсюдженіші – це PVsyst та Virtuosolar. Використаємо PVsyst. В таблиці 3.1 наведено варіанти модуляції, проведені в комплексі PVsyst.

Таблиця 3.1. Варіанти модуляцій в програмному комплексі PVsyst.

Inverter Station			PV module		Phom ratio	AC Power	DC Power	Strings	PV module	Table	Combine r BOX	Storage 1MW
Company	Power, kW	Number	Company	Power, Wp		AC Power, kW	DC Power, MW		Number	Number	Number	Number
Sineng	5	20	Risen	410	1,39	100	139,01	13040	339040	6520	815	1
Sineng	5	20	Longi solar	420	1,42	100	142,40	13040	339040	6520	815	
Sineng	5	20	Longi solar	435	1,44	100	144,32	12760	331760	6380	797	
Sineng	5	20	JA	405	1,37	100	137,31	13040	339040	6520	815	
Sineng	5	20	JA	440	1,44	100	144,04	13640	327360	6820	852	
Sineng	5	20	Risen	410	1,39	100	139,01	13040	339040	6520	815	0
Sineng	5	20	Longi solar	420	1,42	100	142,40	13040	339040	6520	815	
Sineng	5	20	Longi solar	435	1,44	100	144,32	12760	331760	6380	798	
Sineng	5	20	JA	405	1,37	100	137,31	13040	339040	6520	815	
Sineng	5	20	JA	440	1,44	100	144,04	13640	327360	6820	853	

Для прикладу проаналізуємо наступну виборку, результати якої зображені в таблиці 3.2

За допомогою програмного комплексу PVsyst моделюємо СЕС з урахуванням обмеження по приєднанні – 5 мВт, надлишкову енергію, що генерується «відрізає» сам інвертор



Таблиця 3.2. Характеристики виборки

FULL OF POWER PV station	Inverter	Option	1
		Company	Sineng/KSTAR
		Power, MW	5
	PV module	Company	Longi
		Power, Wp	425
	Power	AC Power, MW	100
	Power Strings	DC Power, MW	142,40
			652
	Strings ALL		13040
	PV module		16952
	Table		326

За допомогою програмного комплексу PVsyst моделюємо СЕС з урахуванням обмеження по приєднанні – 5 мВт, надлишкову енергію, що генерується «відрізає» сам інвертор. Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst зображено на рис 3.1

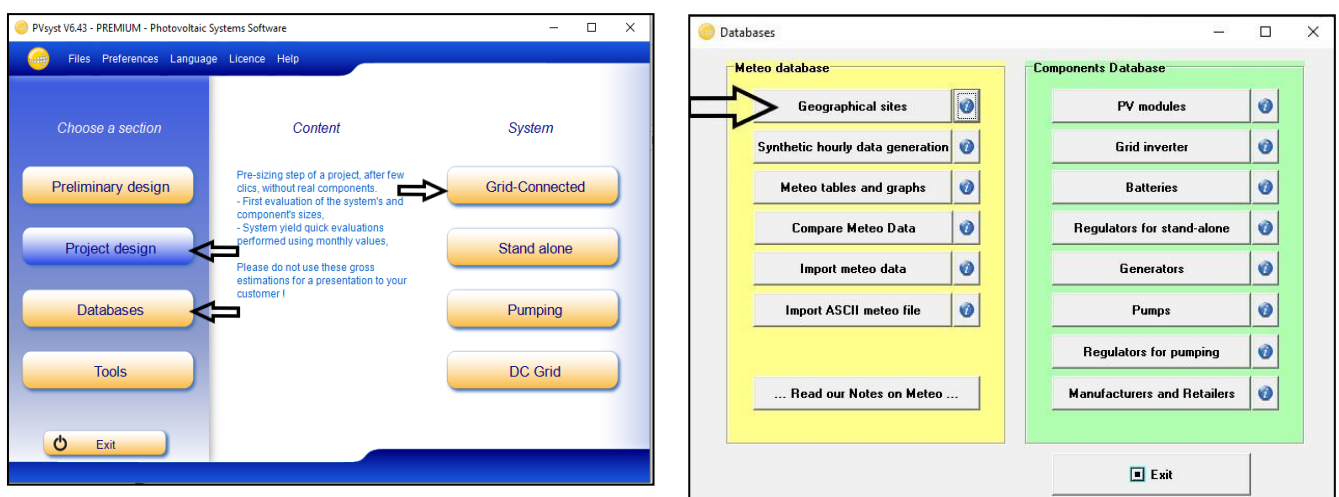


Рис. 3.1 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

1. Необхідно обрати місце розташування об'єкту. Переходимо до вкладки Databases – Geographical sites – New - Geographical Coordinates – заповнюємо форму (вказуємо довготу, широту, висоту над рівнем моря, часовий полюс та джерело даних – Import – OK. (рис. 3.2)

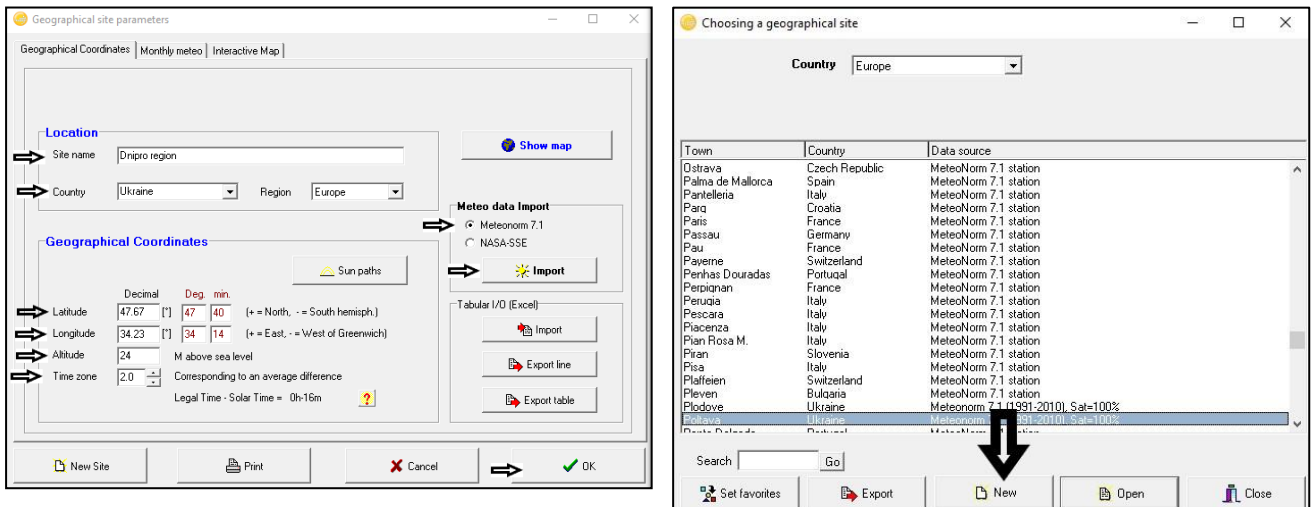


Рис.3.2 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

2. Пункт Project design – Grid Connected. Заповнюємо форму (Назва проекту, обираємо місце розташування та метеоданні). Далі заповнюємо Input parameters. (рис 3.3)

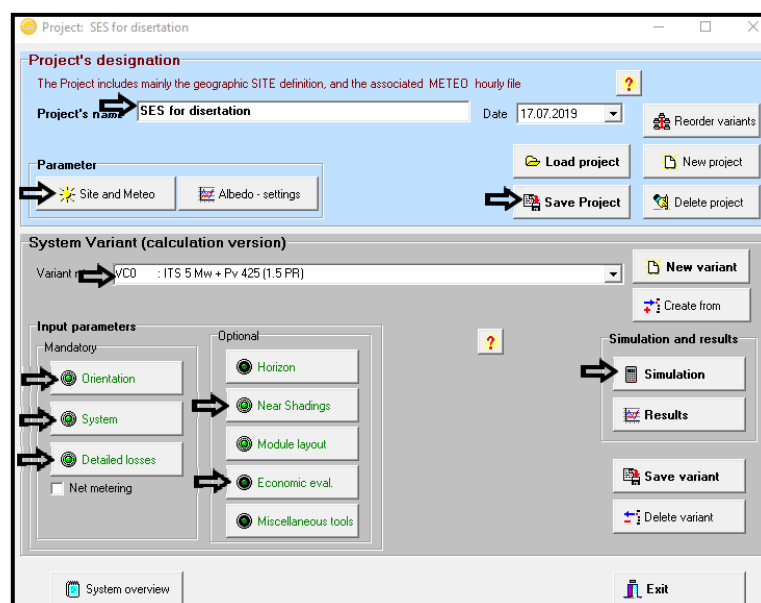


Рис. 3.3 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

3. Заповнюємо вкладення orientation (обираємо тип поля, кут нахилу, крок між столами та розмір ширини столу). (рис. 3.4)

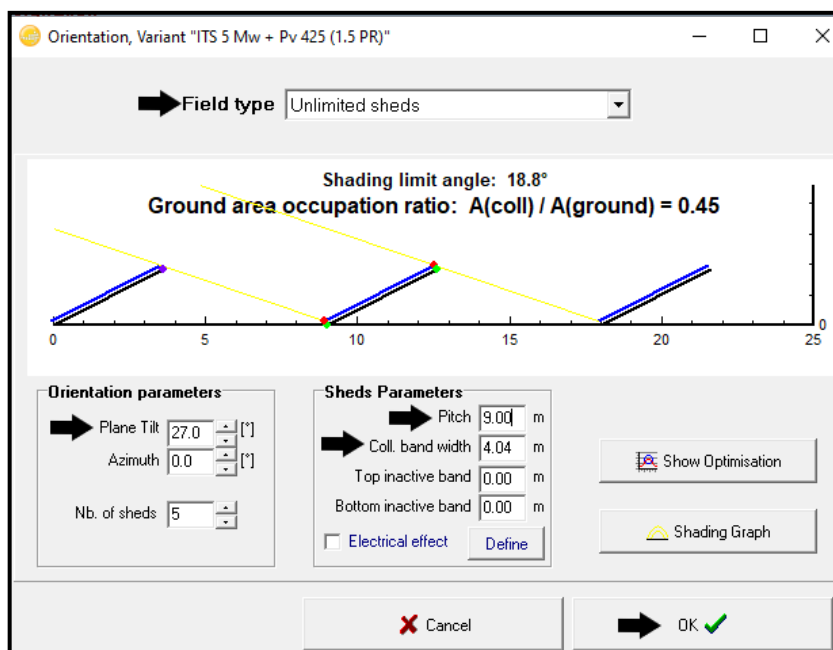


Рис. 3.4 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

4. Заповнюємо вкладення System (обираємо PV module, Inverter та конфігурацію сонячного поля – кількість модулів в стрінгу та кількість стрігів на інвертор) (рис. 3.5)

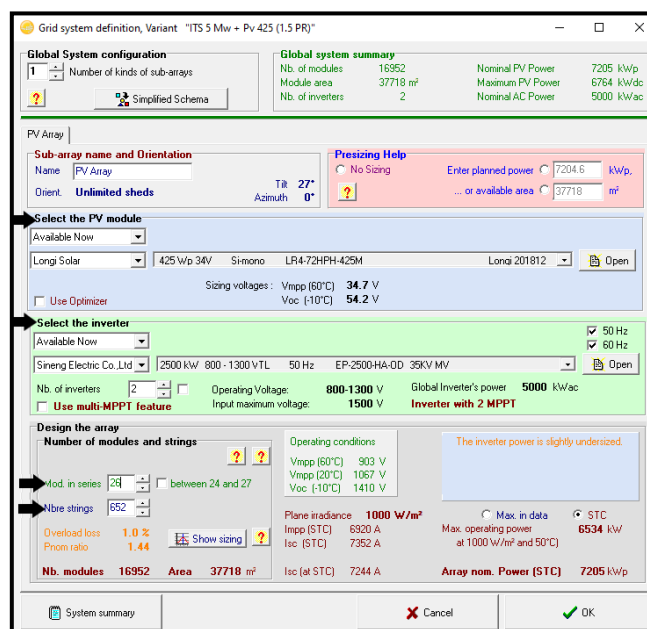


Рис. 3.5 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

## 5. Заповнюємо вкладення Detailed losses:

- Ohmic Losses (вводимо втрати в трансформаторі, вказуємо переріз та довжину кабельної лінії від суматора до інвертора та від інвертора до підстанції) (рис. 3.6)

The screenshot shows the 'PV field detailed losses parameter' window. The 'Ohmic Losses' tab is active. The 'DC circuit: ohmic losses for the array' section includes a 'Detailed computation' button. The 'AC circuit: inverter to injection point' section has a 'Length Inverter to injection' field set to 22323. m. The 'External transformer' section has 'Iron loss (constant value)' set to 0.10 % and 'Resistive/Inductive losses' set to 0.00 % at STC.

Рис. 3.6 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

Module quality – LID – Mismatch (Вказуємо втрати в MPPT, LID деградацію, та ефективну деградацію (від протікання струму)) (рис 3.7)

The screenshot shows the 'PV field detailed losses parameter' window with the 'Module quality - LID - Mismatch' tab selected. The 'Module quality' section shows 'Module efficiency loss' at -0.3 %. The 'LID - Light Induced Degradation' section shows 'LID loss factor' at 2.0 %. The 'Mismatch Losses' section shows 'Power Loss at MPP' at 1.0 % and 'Loss when running at fixed voltage' at 2.5 %.

Рис. 3.7 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

- Auxiliaries (ввести додаткові втрати (обігрів, вентилявання)) (рис 3.8)

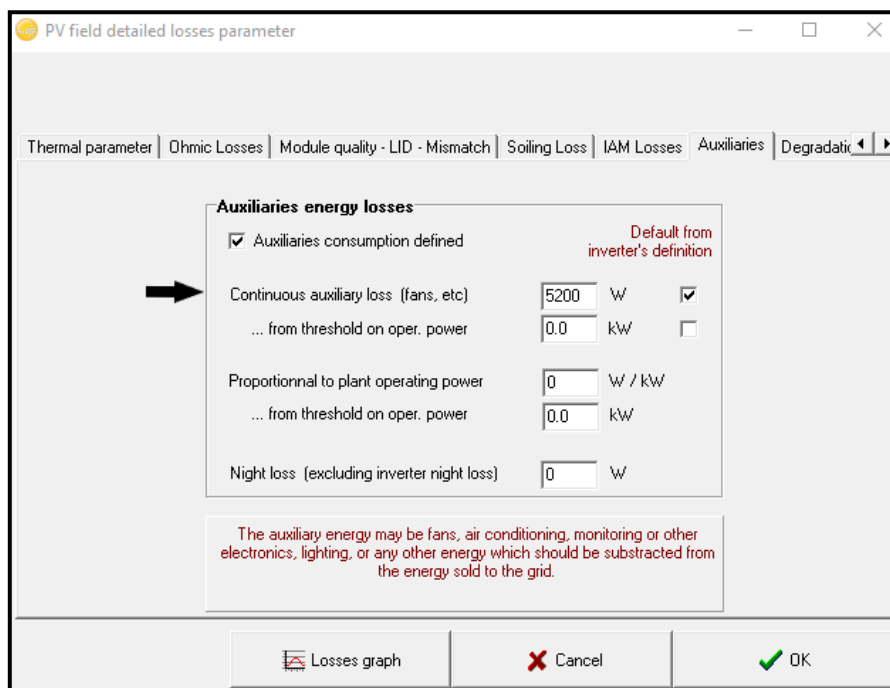
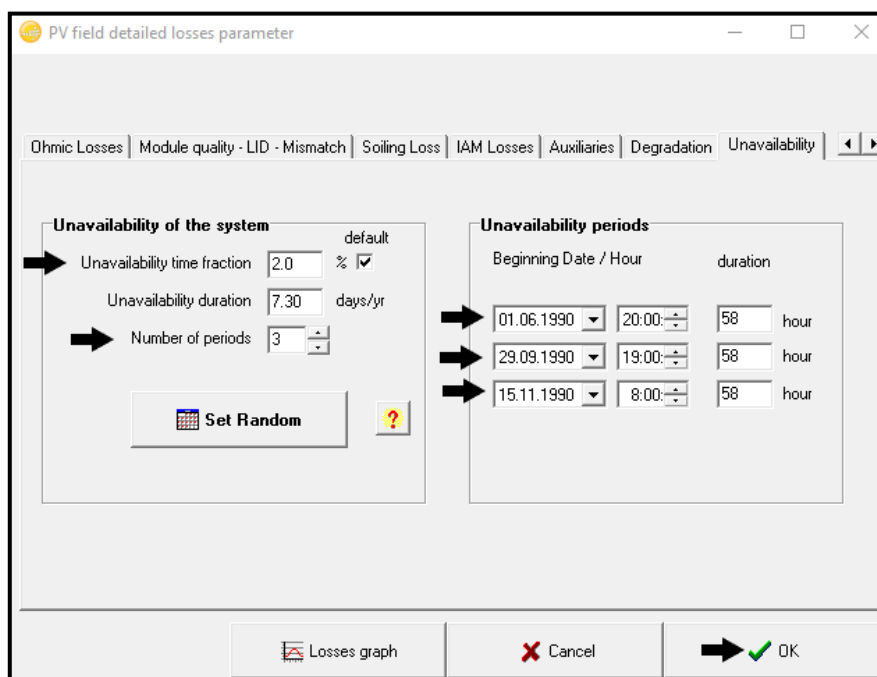


Рис. 3.8 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

- Unavailability (Ввести параметри не спрацювання системи) та тиснемо OK. (рис 3.9)



- Рис. 3.9 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

6. Заповнюємо вкладення Near Shadings – Construction/Perspective (За допомогою інструментів створюємо 3D модель СЕС) (рис 3.10)

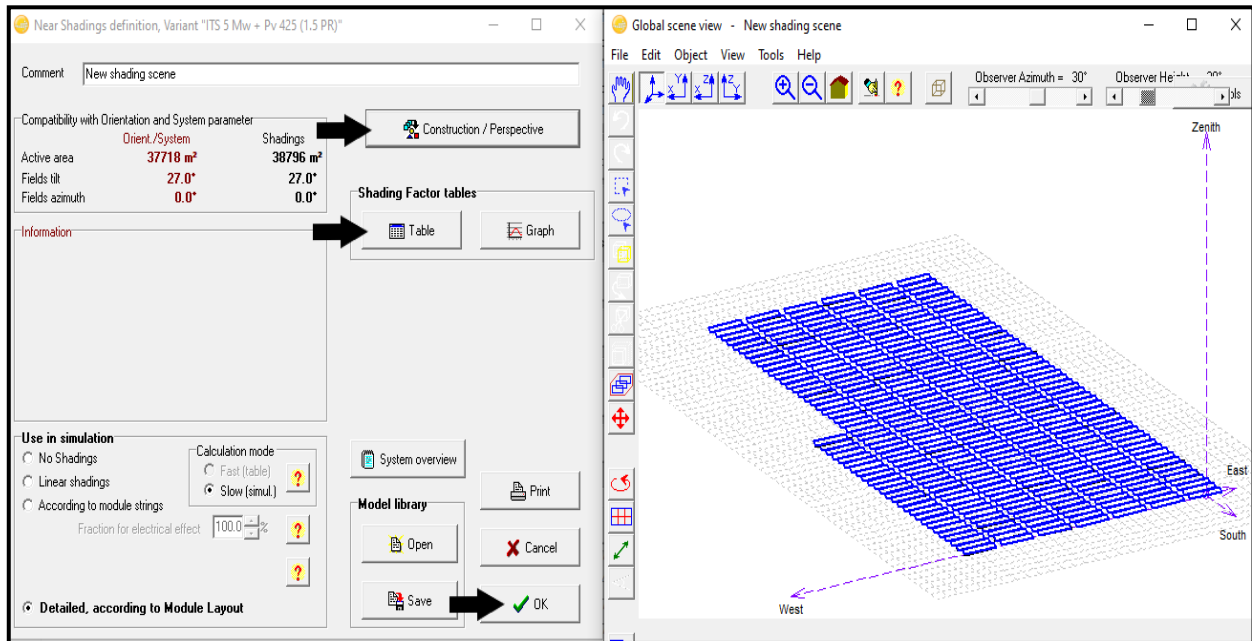
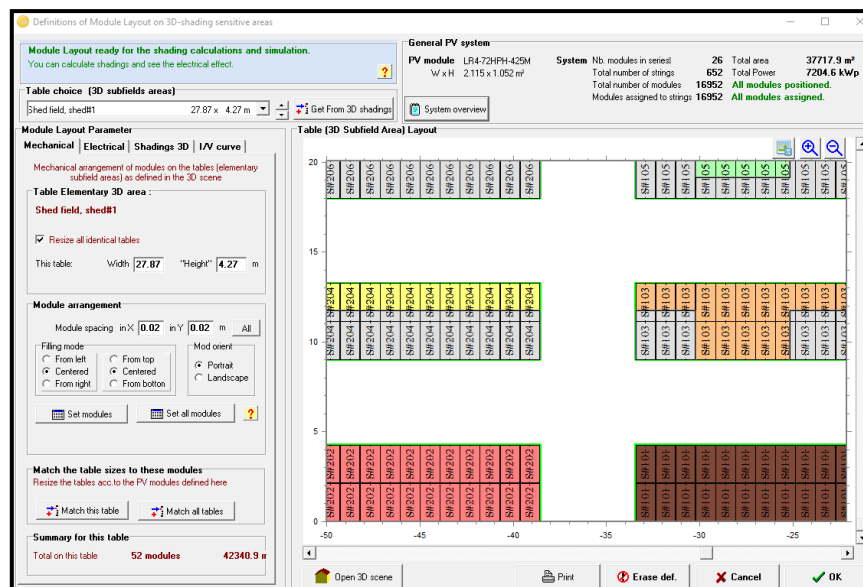


Рис. 3.10 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

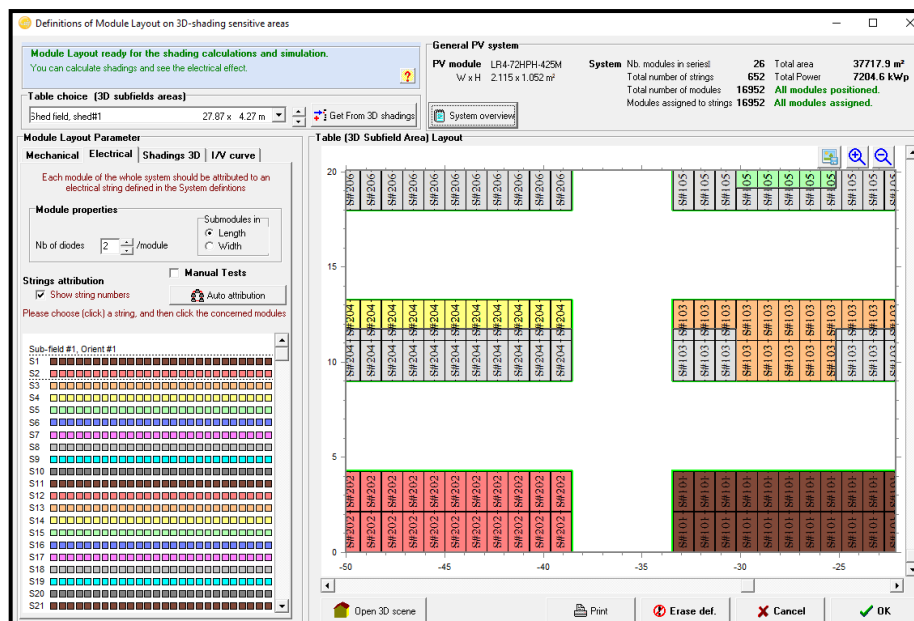
7. Module Layout – поглиблює 3D моделювання через врахування коміркового затінення (тобто враховує технологію half-cell). При відкритті Module Layout маємо наступні 4 вкладки: (рис 3.11)

- Mechanical (фізичні властивості 3D побудови)



- Рис. 3.11 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

- Electrical (тип з'єднання комірок та відповідність кількості електричних зв'язків з фізичною кількістю панелей) (рис 3.12)



- Рис. 3.12 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

- Shadings 3D (вибір періоду моделювання) (рис 3.13)

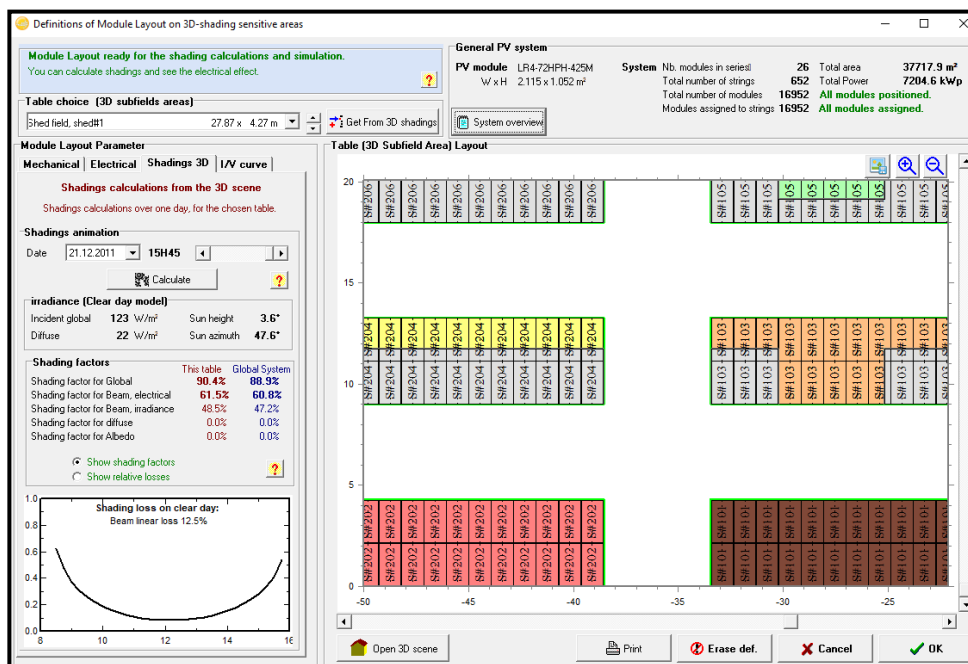


Рис. 3.13 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

- I/V curve (вольт-амперна характеристика процесу генерації) (рис. 3.14)

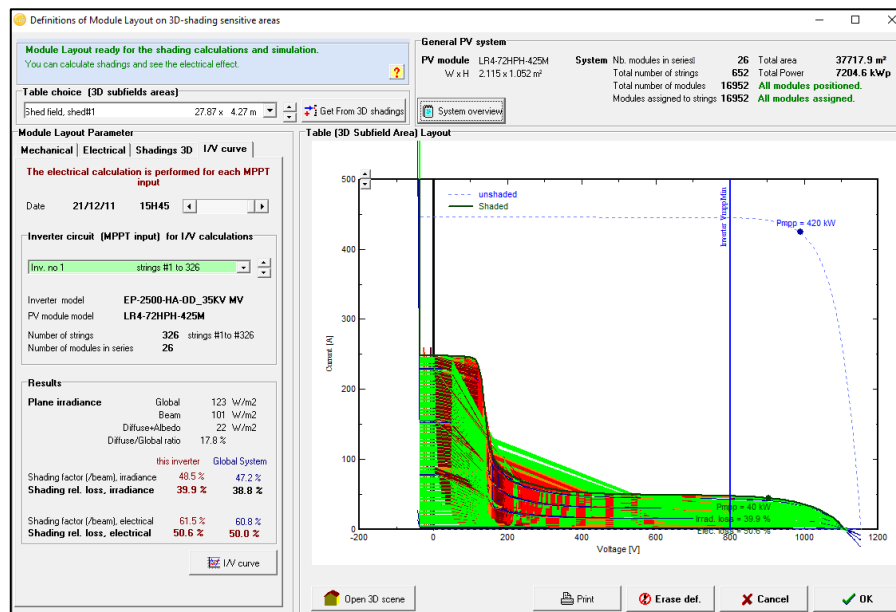


Рис. 3.14 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

- Storage – вибір характеристики накопичувальної системи:
  - System kind (тип системи накопичення) – обираємо Peak Shaving. Це означає, що перегенерований пік буде зрізаний в Storage. (рис.3.15)

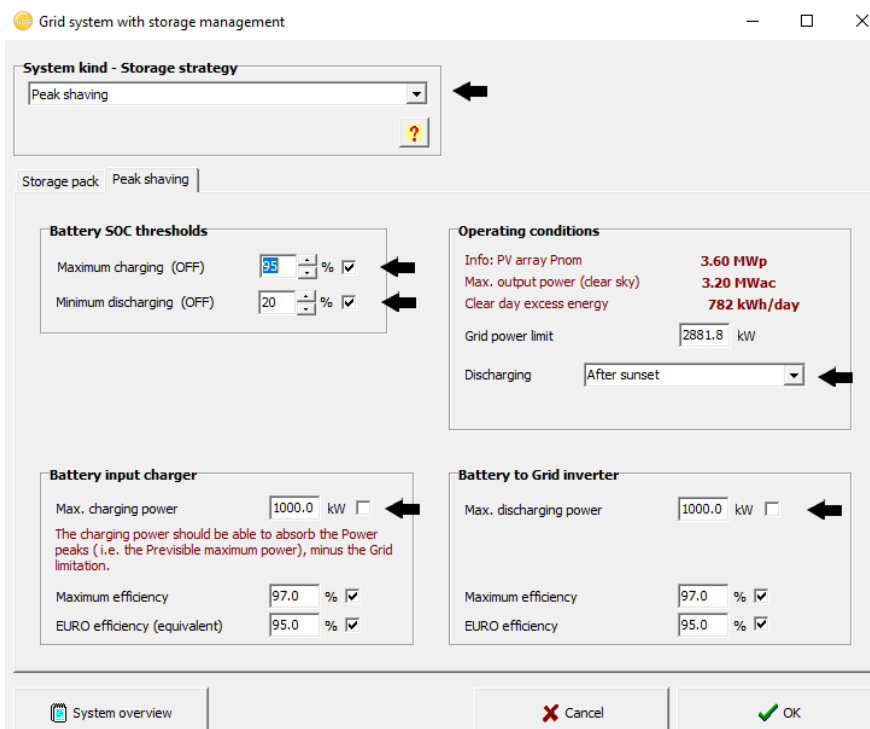


Рис. 3.15 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst



- Заповнюємо вкладення Storage pack з урахуванням вибірки на 1 МВт. Заповнюємо Peak Shaving (обираємо глибину заряду та розряду батарей, визначаємо момент розряду – після заходу сонця) (рис. 3.16, 3.15)

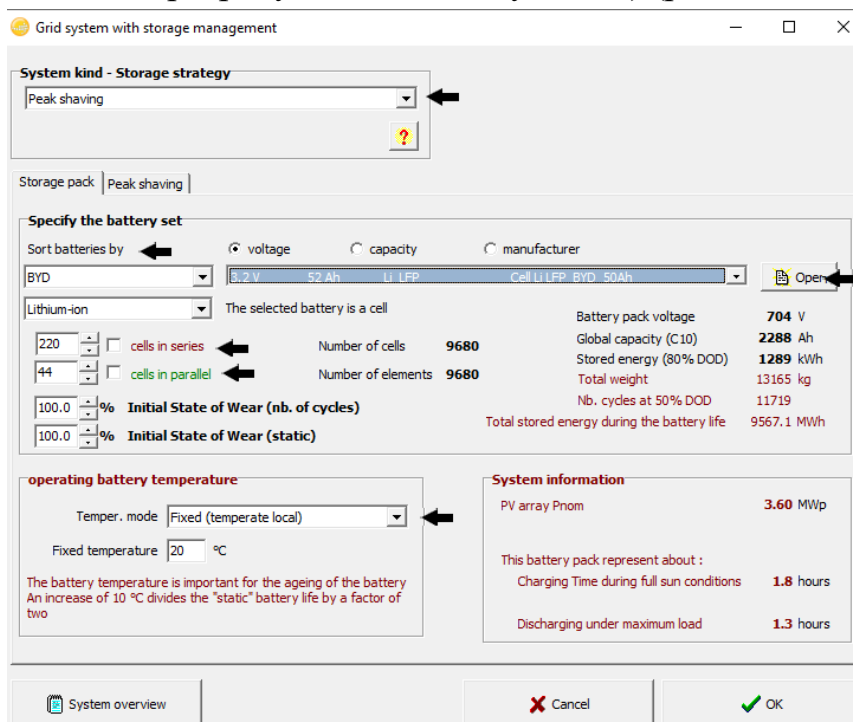


Рис. 3.15 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

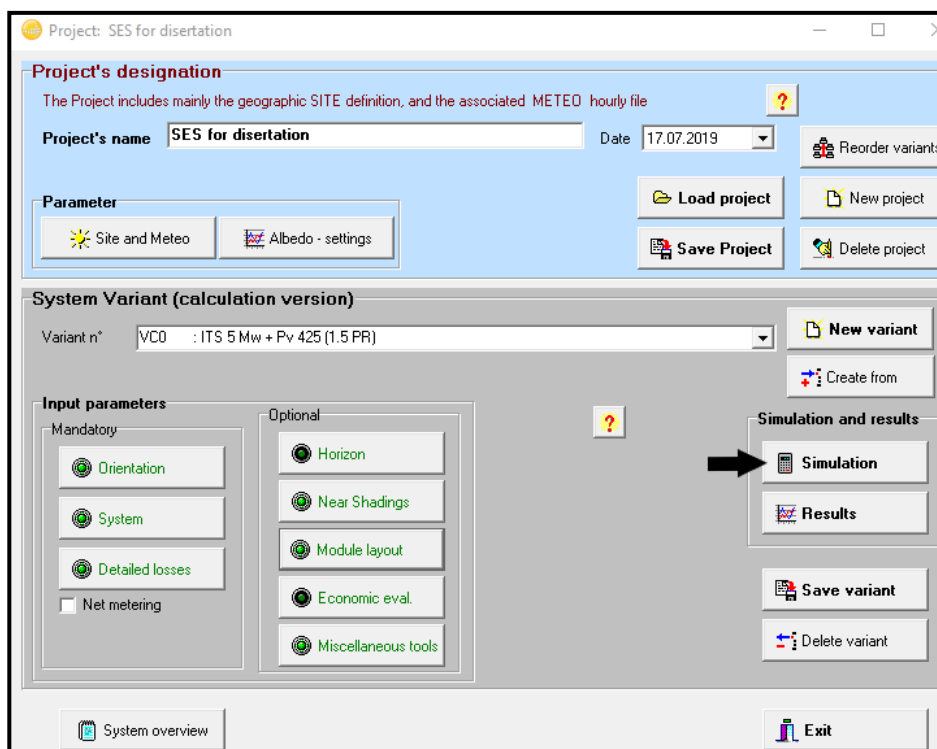


Рис. 3.16 Алгоритм роботи в програмному комплексі PVsyst

9. Для запуску симуляції необхідно натиснути Simulation.

В результаті симуляції отримаємо звіт з повним описанням конфігурованої системи, результуючу діаграму використання енергії та прогнозовану генерацію за рік вказаного в Shadings 3D періоду. (Додаток А. Звіт моделювання PVsyst) (табл 3.3)

Таблиця 3.3 - Баланс та головні результати моделювання.

Balances and main results								
	GlobH or kWh/m I	T Amb °C	GlobIn c kWh/ mI	GlobEf f kWh/ mI	EArra y MWh	E_Gri d MWh	EApGri d MVAh	EffSys R %
January	24,50	-2,50	37,20	32,70	177,00	141,60	175,69	11,85
February	39,00	-1,30	55,70	51,50	361,00	285,00	353,87	16,18
March	82,50	3,50	103,30	96,00	677,00	532,50	649,42	16,02
April	125,20	9,90	142,10	132,10	898,00	702,00	882,25	15,83
May	165,90	15,70	171,20	159,50	1033,00	756,50	1014,85	15,11
June	176,10	18,20	174,00	161,90	1021,00	802,40	1003,64	14,70
July	177,10	20,70	180,10	167,40	1080,00	864,00	1061,15	15,02
August	141,30	19,90	151,20	139,70	930,00	701,60	914,08	15,41
September	103,70	14,10	127,30	118,60	801,00	624,80	787,43	15,79
October	61,70	9,20	86,20	80,30	548,00	402,90	538,43	15,91
November	29,90	3,90	37,40	33,00	189,00	142,60	170,68	11,64
December	16,40	-1,50	25,50	21,10	107,00	84,30	97,16	9,73
Year	1139,30	9,21	1291,20	1193,70	7822,00	6040,20	7645,38	15,10

Порівняння згенерованої енергії та відпущеної енергії наведено в табл. 3.3

Таблиця 3.3 Порівняння згенерованої енергії та відпущеної

EArray	E_Grid	Result
MWh	MWh	MWh
7822,00	6040,20	-1781,8

Порівнюючи згенеровану та відпущену енергії бачимо, що різниця становить 1781,8 Мвт\*год на рік. Це потужність втрат енергії в кабельних лініях, в трансформаторі, деградації фотомодулів та втрати «відрізання» надлишково згенерованої енергії (внаслідок перевантаження).

Аналізуючи данну модель будуємо порівняльний графік згенерованої енергії та відпущеної енергії (рис. 3.16)

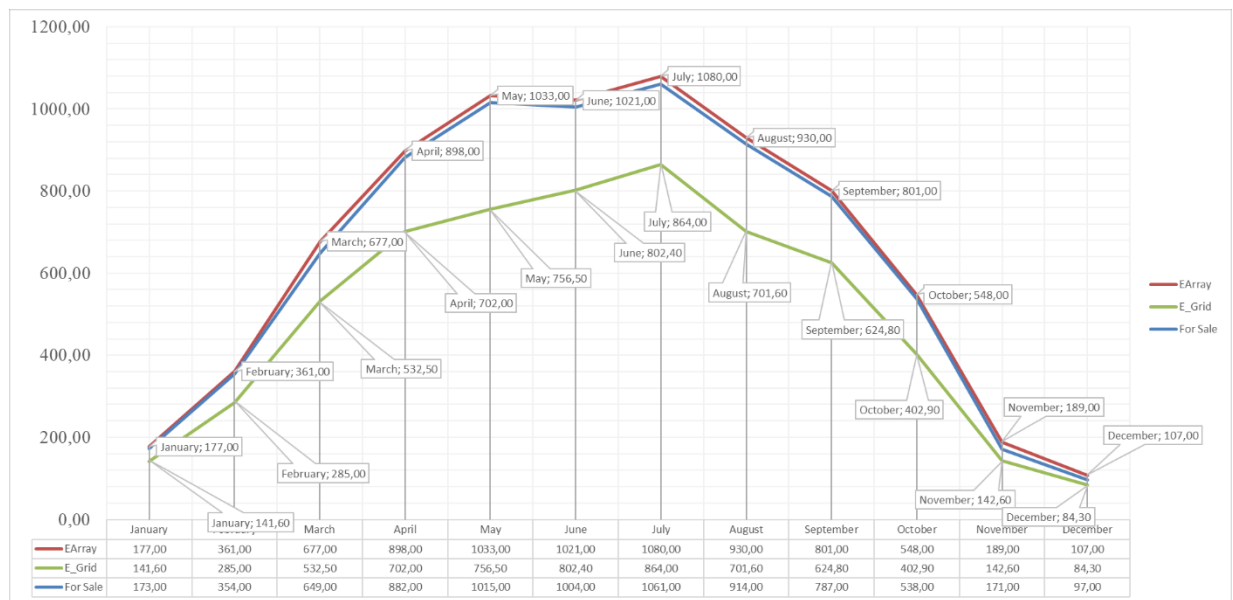


Рисунок 3.16. Порівняльний графік згенерованої енергії та відпущеної енергії

За допомогою програмного комплексу PVsyst моделюємо СЕС з урахуванням обмеження по приєднанні – 5 мВт, надлишкову енергію, що генерується використовуємо для накопичення в системі Energy Storage з подальшою видачею в мережу в часи неномінальної генерації. (табл 3.4)

Таблиця 3.4. Баланс та головні результати моделювання.

Balances and main results								
	GlobH or kWh/m I	T Amb °C	GlobIn c kWh/ mI	GlobEf f kWh/ mI	EArra y MWh	E_Gri d MWh	EApGri d MVAh	EffSys R %
January	24,50	-2,50	37,20	32,70	177,00	173,00	175,69	11,85
February	39,00	-1,30	55,70	51,50	361,00	354,00	353,87	16,18
March	82,50	3,50	103,30	96,00	677,00	649,00	649,42	16,02
April	125,20	9,90	142,10	132,10	898,00	882,00	882,25	15,83
May	165,90	15,70	171,20	159,50	1033,0 0	1015,0 0	1014,85	15,11
June	176,10	18,20	174,00	161,90	1021,0 0	1004,0 0	1003,64	14,70
July	177,10	20,70	180,10	167,40	1080,0 0	1061,0 0	1061,15	15,02
August	141,30	19,90	151,20	139,70	930,00	914,00	914,08	15,41
Septemb er	103,70	14,10	127,30	118,60	801,00	787,00	787,43	15,79
October	61,70	9,20	86,20	80,30	548,00	538,00	538,43	15,91
Novemb er	29,90	3,90	37,40	33,00	189,00	171,00	170,68	11,64
Decembe r	16,40	-1,50	25,50	21,10	107,00	97,00	97,16	9,73
Year	1139,3 0	9,21	1291,2 0	1193,7 0	7822,0 0	7645,0 0	7645,38	15,10

Порівняння згенерованої енергії та відпущеної енергії наведемо в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 Порівняння згенерованої та відпущеної енергії

EArray	E_Grid	Result
MWh	MWh	MWh
7822,00	7645,00	-177,00

Порівнюючи згенеровану та відпущену енергії бачимо, що різниця становить 177 МВт\*год на рік. Це потужність втрат енергії в кабельних лініях, в трансформаторі та деградації фотомодулів, тобто обов'язкові втрати.

Аналізуючи данну модель будуємо порівняльний графік згенерованої енергії та відпущеної енергії (Рис 3.17)

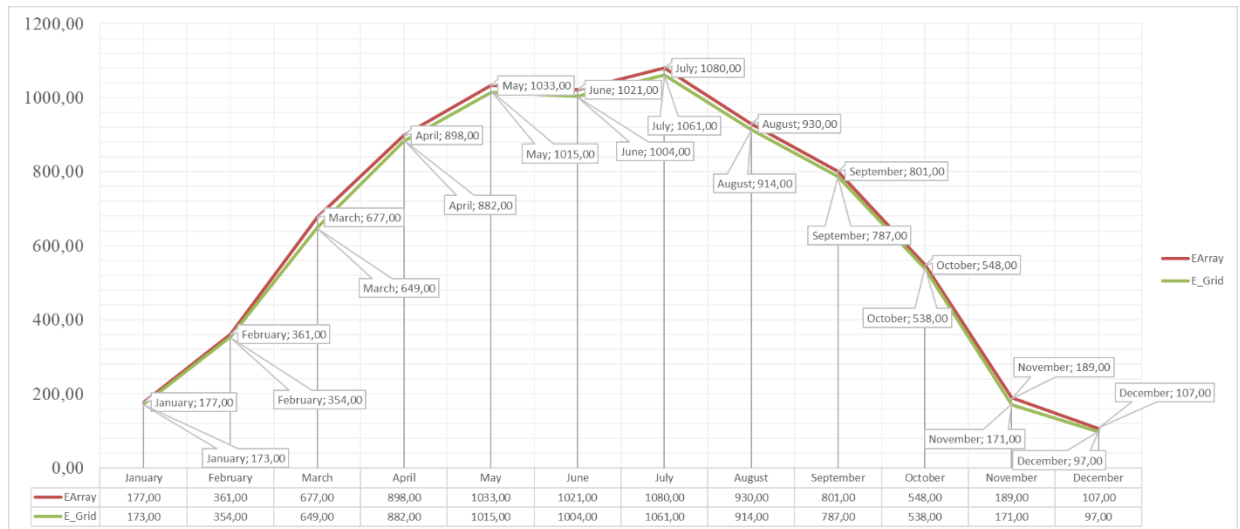


Рисунок 3.17 Порівняльний графік згенерованої енергії та відпущеної енергії

Згідно данного аналізу можемо зробити висновок, що з точки зору прогнозування відпуску електричної енергії в мережу, більш доцільним є варіант з використанням Energy Storage, адже різниця між варіантами становить 1604,8 МВт\*год в рік.

По такій же аналогії проведено розрахунок для загальної потужності СЕС, результати надано в таблиці 3.6

Таблиця 3.6. Підсумкова таблиця моделювання різних варіацій СЕС 100 МВт.											
		+Energy Storage (1 MW*hour)					- Energy Storage				
option		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Inverter Station	Company	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng	Sineng
	Power, MW	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Number	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
PV module	Company	Risen	Longi solar	Longi solar	JA	JA	Risen	Longi solar	Longi solar	JA	JA
	Power, Wp	410	420	435	405	440	410	420	435	405	440
Pnom ratio		1,39	1,42	1,44	1,37	1,44	1,39	1,42	1,44	1,37	1,44
AC Power	AC Power, MW	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DC Power	DC Power, MW	139,01	142,40	144,32	137,31	144,04	139,01	142,40	144,32	137,31	144,04
Strings		13040,00	13040,00	12760,00	13040,00	13640,00	13040,00	13040,00	12760,00	13040,00	13640,00
PV module		339040,00	339040,00	331760,00	339040,00	327360,00	339040,00	339040,00	331760,00	339040,00	327360,00
Table		6520,00	6520,00	6380,00	6520,00	6820,00	6520,00	6520,00	6380,00	6520,00	6820,00
Combiner BOX		815,00	815,00	797,50	815,00	852,50	815,00	815,00	797,50	815,00	852,50
Storage 1MW		1,00					0,00				
Produce Energy	MWh/year	173462,00	176954,00	182090,00	171602,00	179121,00	167886,00	170788,00	174898,00	166285,00	172418,00
CAPEX option	AC 35 kV (185 mm), metr	79124,10	79124,10	77425,12	79124,10	82764,78	79124,10	79124,10	77425,12	79124,10	82764,78
	DC 1,5 kV (120 mm), metr	129880,00	129880,00	127091,17	129880,00	135856,07	129880,00	129880,00	127091,17	129880,00	135856,07
	DC 0,8 kV (4 mm), metr	537920,00	537920,00	526369,57	537920,00	562670,92	537920,00	537920,00	526369,57	537920,00	562670,92
	Connected (2x2x0,78) RS485, metr	40820,00	40820,00	39943,50	40820,00	42698,22	40820,00	40820,00	39943,50	40820,00	42698,22
	Light (OKL-5),metr	26374,00	26374,00	25807,69	26374,00	27587,53	26374,00	26374,00	25807,69	26374,00	27587,53
	Roud, metr	37656,00									
	Fence, metr	10938,00									
OPEX	\$*year	651 223	651 223	651 223	651 223	651 223	651 223	651 223	651 223	651 223	651 223
AC	AC Power, MW	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
DC	DC Power, MW	139,01	142,40	144,32	137,31	144,04	139,01	142,40	144,32	137,31	144,04
Spec. yield, MWh / MWp		1247,87	1242,68	1261,75	1249,73	1243,56	1207,76	1199,38	1211,91	1211,01	1197,03

Наступний крок – на основі проведених розрахунків складемо порівняльні таблиці загально річного прибутку. (Таблиця 3.7, 3.8)

Таблиця 3.7 Підсумкова таблиця прибутковості СЕС без урахування Storage.

Inverter Station			PV module		Produce Energy	OPEX	Profit	
Company	Power, MW	Number	Company	Power, Wp	MWh*year	\$*year	\$*year	грн*year
KSTAR	5	20	Risen	410	167 886,00	651 223,00	24 531 677,00	662 355 279,00
KSTAR	5	20	Longi solar	420	170 788,00	651 223,00	24 966 977,00	674 108 379,00
KSTAR	5	20	Longi solar	435	174 898,00	651 223,00	25 583 477,00	690 753 879,00
KSTAR	5	20	JA	405	166 285,00	651 223,00	24 291 527,00	655 871 229,00
KSTAR	5	20	JA	440	172 418,00	651 223,00	25 211 477,00	680 709 879,00

Таблиця 3.8 Підсумкова таблиця прибутковості СЕС з урахуванням Storage.

Inverter Station			PV module		Produce Energy	OPEX	Profit	
Company	Power, MW	Number	Company	Power, Wp	MWh*year	\$*year	\$*year	грн*year
KSTAR	5	20	Risen	410	173 462,00	651 223,00	25 368 077,00	684 938 079,00
KSTAR	5	20	Longi solar	420	176 954,00	651 223,00	25 891 877,00	699 080 679,00
KSTAR	5	20	Longi solar	435	182 090,00	651 223,00	26 662 277,00	719 881 479,00
KSTAR	5	20	JA	405	171 602,00	651 223,00	25 089 077,00	677 405 079,00
KSTAR	5	20	JA	440	179 121,00	651 223,00	26 216 927,00	707 857 029,00

З даного розрахунку видно, що використання Energy Storage показує позитивний ефект на загальній генерації. Враховуючи нинішній тариф для промислових СЕС (0,15 €) [30]. вирахуємо в грошовому еквіваленті вигоду використання системи накопичення з продажу накопиченої енергії. (табл 3.8)

Таблиця 3.8. Підсумкова таблиця прибутковості накопиченої енергії

Company	Power, MW	Number	Company	Power, Wp	Difference MWh*year	\$*year	грн*year
KSTAR	5	20	Risen	410	5 576,00	836 400,00	22 582 800,00
KSTAR	5	20	Longi solar	420	6 166,00	924 900,00	24 972 300,00
KSTAR	5	20	Longi solar	435	7 192,00	1 078 800,00	29 127 600,00
KSTAR	5	20	JA	405	5 317,00	797 550,00	21 533 850,00
KSTAR	5	20	JA	440	6 703,00	1 005 450,00	27 147 150,00

З даної таблиці видно, найкращий варіант при використанні ФЕМ Longi solar 435 Вт\*пік. В такому випадку за рік Energy Storage накопичить та розрядить в мережу 7 192 МВт\*рік електричної енергії, що відповідає прибутку в 29 127 600,00 грн в рік.

Згідно данного аналізу можемо зробити висновок, що з точки зору прогнозування відпуску електричної енергії в мережу, більш доцільним є варіант з використанням Energy Storage, адже різниця між варіантами становить 7192 МВт\*рік, а це на теперішній час майже 1 078 800 \$ в рік.

В середньому Energy Storage ємністю 1 МВт\*год коштує 250 000 \$, отже:  $1\,078\,800 - 250\,000 = 828\,800$  \$

Отже з точки зору капітальних (CAPEX) та операційних (OPEX) витрат є доцільним використання Energy Storage.

### Висновки по розділу

Перед початком проектних робіт проведено детальну оцінку доцільності впровадження Energy Storage. При чому особливу увагу надано саме «фінасовій» складовій. Це пояснюється тим, що не завжди технічна оцінка є вірною. Наприклад, при новому будівництві СЕС був закладений певний коефіцієнт перевантаження, який забезпечив більш ранній вихід СЕС на



номінальну потужність і отримання додаткового прибутку (в порівнянні з відношенням AC/DC як 1/1 відповідно), але, як наслідок, отримуємо надлишок енергії, що генерується в пікові години генерації. Провівши технічний розрахунок з фінансовим аналізом (ціни на обладнання та покриття затрачених коштів прибутком з продажі додаткових кВт\*год) отримали позитивний результат по доцільності впровадження запланованого заходу. При виконанні більш глибокого фінансового аналізу результат змінюється, адже в вводяться такі фінансові показники як: гарантії виробника, гарантії банку, відношення «equity» (капітал власних та залучених коштів), графік поставки обладнання, ризики затримання будівництва, здороження обладнання з часом відповідно кредитних зобов'язань перед інвестором, затрати щодо будівництва та експлуатації, ризики щодо гарантійних та негарантійних виходів з ладу та заміну обладнання. Остаточо робимо висновок, що використання накопичувальних систем в нашому регіоні доцільний, питання лише в строках окупності даної технології, але цей показник варто розраховувати вже індивідуально під кожен проект.

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає у створенні програмного забезпечення, яке буде направлено для використання промисловим об'єктом, а саме промисловою сонячною електростанцією (далі – СЕС), структурними підрозділами Міністерства енергетики та вугільної промисловості України або особами, які беруть участь у використанні програм складання довгострокових добових прогнозних балансів електричної енергії енергетичної системи СЕС[36].

Використання споживачами даного програмного продукту передбачає можливість вибору критеріїв керування, та здійснення на обраний період:

- аналізу та оцінки частки генерації відновлюваними джерелами енергії в структурі системи об'єкта ;
- керування режимом роботи СЕС;
- регулювання споживання енергії на власні потреби СЕС в цілодобовому періоді.

Опис ідеї стартап-проекту, що розкриє цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів, вказаний у таблиці 4.1.

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Наразі немає конкурента або подібного програмного продукту оскільки системи накопичення для промислових СЕС на даний момент на території України в перспективі відповідно моніторинг та керування такими системами недовзі буде надзвичайно актуальним.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Розробка програмного забезпечення для керування режимом роботи системи накопичення генерованої СЕС електроенергії інтегрованої в систему SCADA об'єкту	1. Аналіз та оцінка частки згенерованої та накопиченої електроенергії	- онлайн моніторинг повного циклу генерації та накопичення електроенергії СЕС
	2. Керування режимом заряду/розряду системи накопичення	- можливість «довантажувати» ОЕС України у вигідні для користувача години (після обідній час, часи піків тощо)
	3. Контроль локальної системи СЕС	- можливість використання накопиченої енергії на власні потреби в часи простою СЕС (в нічний час)

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного дослідження необхідно провести аудит технології, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологій здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових, що зображені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Технології здійсненності ідеї проекту

	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка програмного забезпечення для керування режимом роботи системи накопичення генерованої СЕС електроенергії інтегрованої в систему SCADA об'єкту	Мова програмування Java	наявна	доступна
2.		Мова програмування PHP	наявна	доступна
3		Мова програмування Ms SQL C#	наявна	доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Мова програмування Ms SQL C#				

Технології програмування Java та PHP являється складним інструментом для реалізації ETL (Extract, Transform, Load.) процесів та проведення аналітичних дій[39]. Мова програмування C# з технологією Ms SQL дозволить легко написати програмний продукт для аналізу та збереження великих масивів інформації. Тому обрана технологія реалізації ідеї проекту: мова програмування C# з технологією Ms SQL.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринкового середовища: складання таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають, ці фактори перераховані у таблицях 4.3 і 4.4 відповідно. Фактори в таблиці подаються в порядку зменшення значущості. (таблиця 4.3, 4.4)

Таблиця 4.3 Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.Складне політичне та економічне становище в країні	Брак коштів щодо реалізації програмного продукту	Зниження ціни
2. Конкуренція	Створення аналогічного програмного забезпечення	Зниження ціни

Таблиця 4.4 Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Розвиток програмного забезпечення	Створення і оновлення функцій, розширення можливостей	Реклама продукту

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу - матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), SWOT-аналіз продемонстрований у таблиці 4.5.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими

результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза). (таблиця 4.5)

Таблиця 4.5 SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- стартап-проект є монополістом на ринку України;</li> <li>- постійна он-лайн підтримка програмного забезпечення;</li> <li>- періодичне інформування користувача;</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вимагає підключення до мережі Інтернет;</li> <li>- вимагає проведення навчання персоналу замовника ;</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- розвиток програмного забезпечення;</li> <li>- легкий доступ до програмного забезпечення;</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- складне політичне становище в країні;</li> <li>- складне економічне становище в країні;</li> <li>- конкуренція.</li> </ul>

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку[40].: опис цільових груп потенційних споживачів. Вибір цільових груп потенційних споживачів проведений у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1. Інвестори	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
2. Державні органи влади	Часткова готовність	Високий	Помірна	Просто

Оскільки компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару показано у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі, або такі, що потрібно створити)
Надійність та захищеність	Індивідуальний доступ (ключ) для кожного клієнта	Індивідуальний доступ

Продовження таблиці 4.7

Повнота даних	Аналіз даних по кожному об'єкту генерації	Повнота даних по всім ВДЕ
Достовірність інформації	Інформація отримана напряду від реальних суб'єктів генерації	Інформація є достовірною та перевіреною
Підтримка та оновлення	Створення і оновлення функцій, розширення можливостей	Врахування індивідуальних побажань клієнтів, перед кожним оновленням програмного забезпечення

Концепція, згідно з якою компанія ретельно обмірковує і координує роботу своїх численних каналів комунікації називається концепція маркетингової комунікації, вона продемонстрована у таблиці 4.8.

Це робиться з метою вироблення чіткого, послідовного і переконливого уявлення у споживачів про продукт. Спрямована на інформування, переконання, нагадування споживачам та ринку в цілому про продукт і діяльність .

Таблиця 4.8 Концепція маркетингової комунікації

Цільові групи	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.Інвестори	Інтернет, презентації під час зустрічей	Надійність, повнота інформації	Зацікавити клієнтів	Зручність, надійність, достовірність



Продовження таблиці 4.8

2. Державні органи влади	Інтернет, презентації під час зустрічей	Надійність, повнота інформації	Зацікавити клієнтів	Зручність, надійність, достовірність
-----------------------------------	---	--------------------------------------	------------------------	--

### Висновки по розділу

1. У створенні програмного забезпечення, яке буде направлено для використання промисловим об'єктом, а саме промисловою сонячною електростанцією (далі – СЕС), структурними підрозділами Міністерства енергетики та вугільної промисловості України або особами, які беруть участь у використанні програм складання довгострокових добових прогнозних балансів електричної енергії енергетичної системи СЕС..

2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту показав, що даний продукт вразливий до таких загроз як слабка купівельна спроможність компаній та посилена конкуренція, проте цим загрозам можна протистояти якщо знизити ціну на продукт.

3. Дослідження дозволило визначити, що найбільший попит серед всіх цільових груп матимуть інвестори і державні компанії в енергетичній сфері .

4. Огляд довів, що бар'єром для впровадження стартап-проекту буде відсутність зацікавлення у керівництва компаній.

5. Аналіз підтвердив, що підтримка проекту в режимі он-лайн і регулярне оновлення програмного продукту дає можливість бути комерційно привабливим цьому проекту для інвесторів і державних енергетичних компаній.

## ВИСНОВКИ

1. За результатами проведеного аналізу, встановлено що Україна має несприятливу структуру генеруючих потужностей об'єднаної енергосистеми, а саме недостатню кількість маневрених енергоблоків в структурі ОЕС. Можливо підвищити маневреність СЕС за допомогою Energy Storage.

2. Гнучкість систем накопичення дає можливість «зібрати» рішення під кожен об'єкт/проект індивідуально. З часом можливо «доростити» необхідну потужність системи. Керування режимами роботи максимально логічне (через стандартну SCADA або АСУ ТП).

3. Відповідно до проведеного аналізу встановлено, що використання накопичувальних систем в структурі СЕС доцільний, оскільки простий термін окупності даних технології при встановлені «зеленого тарифу» складає від 5 років.

4. Інтеграція технологій Energy Storage в існуючі СЕС вимагає створення унікального програмного забезпечення для моніторингу та оперативного керування, при цьому з можливістю симбіозу з іншими АСУ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Smart grid [Електронний ресурс] // Wikipedia. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Розумна\\_енергосистема](https://uk.wikipedia.org/wiki/Розумна_енергосистема).
2. Україна в рейтингу Doing Business [Електронний ресурс] // Doing Business.org. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://russian.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/ukraine>.
3. Ukraine: Council adopts EU-Ukraine association agreement [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2017/07/11/ukraine-association-agreement/>.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс] // БІЛА КНИГА. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
5. Сотник И. Н. Формирование эколого-экономического механизма управления энергосбережением на уровне территории / И. Н. Сотник // Вісник Сумського державного університету. Серія : Економіка. – 2013. – № 6. – С. 46–52.
6. План розвитку об'єднаної енергосистеми України на наступні 10 років [Електронний ресурс] // Київ. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996562>.
7. Микитенко В. В. Теоретико-методологічне обґрунтування енергозбереження як економічної категорії / В. В. Микитенко // Наука та наукознавство. – 2012. – № 2. – С. 72–79.

8. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Циганенко Борис Володимирович – Київ, 2017. – 209 с.
9. Полуботко А. А. Логистические основы качества поставок электроэнергии / А. А. Полуботко. – Ростов: Известия ВолгГТУ, 2015. – 5 с.
10. Боюн В. П. Аналіз нормативних документів з якості комунальних послуг / В. П. Боюн, О. В. Багацький. – Київ: Комп'ютерні засоби, мережі та системи, 2012. – 10 с.
11. Сидорова Д. С. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в світі / Д. С. Сидорова. – Харків: Актуальні проблеми міжнародних відносин, 2014. – 10 с. – (122).
12. Діхтярук І. В. Влив секціонування розподільних мереж напругою 6-10 кВ автоматичними роз'єднувачами на інтегральні показники надійності / І. В. Діхтярук., 2016. – 5 с. – (2/1(28)).
13. Карпенко А. П. Методы решения задачи перспективного развития распределительной городской сети электроснабжения / А. П. Карпенко, И. А. Кузьмина. – Москва: Наука и Образование. МГТУ им Н.Э.Баумана, 2014. – 16 с. – (УДК 519.6). – (10).
14. Петрухин А. А. Совершенствование методов технических средств определения мест повреждений воздушных ЛЭП 6-35 кВ на основе активного зондирования : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Петрухин А. А. – Иваново, 2009. – 24 с.
15. Основні питання політики розвитку електроенергетичної галузі України / А. І.Шевцов, В. О. Бараннік, М. Г. Земляний, Т. В. Ряужева. – Дніпропетровськ: Національний інститут стратегій і досліджень, 2011. – 89 с.

16. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України: регіональний аспект / А. О. Ахромкін., 2015. – 4 с. – (6). – (223).

17. Тонкаль В. Е. Методы и средства разработки и внедрения региональных комплексных научно-технических программ энергосбережения / В. Е. Тонкаль, С. П. Денисюк, Ю. А. Вихоров; НАН Украины; Институт проблем энергосбережения. – К., 1995. – Ч. 2. – 44 с.

18. Мигас И. М. Методика технико-экономического расчета обоснования внедрения мероприятий по энергосбережению / Мигас И. М. // Економіка: проблеми теорії та практики : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2010. – Вип. 56 – 102 с.

19. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали : у 2-х т. / Національна академія наук України; Інститут газу НАН України; Інститут загальної енергетики НАН України; редколегія: Б. С. Стогній та ін. – К.: Академперіодика, 2006 – 529 с.

20. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016-2025 роки [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України – Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat\\_id=244972812](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812)

21. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільчих електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Циганенко Борис Володимирович – Київ, 2017. – 271 с.

22. Буславець О. А. Методи та засоби підвищення достовірності розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Буславець Ольга Анатоліївна – Київ, 2017. – 167 с.

23. Реєстр суб'єктів природних монополій, які проводять господарську діяльність у сфері енергетики [Електронний ресурс] // НКРЕ. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/litsenziini\\_reestry/reestr\\_monopol\\_energo.pdf](http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/litsenziini_reestry/reestr_monopol_energo.pdf).

24. Суходоля О. М. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України / О. М. Суходоля, А. А. Сидоренко. – Київ, 2014. – 54 с. – (НІСД).

25. Халатов А. А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи / А. А. Халатов. – Київ, 2016. – 60 с.

26. Черноусенко О. Ю. Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС/ О. Ю. Черноусенко. – Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2014. – 8 с.

27. ПрАТ "Київобленерго" [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=25>.

28. Науковий метод [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення 04.04.2018) – Науковий метод.

29. Кластерний аналіз [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення 09.04.2018) – Кластерний аналіз.

30. Методы ситуационного анализа [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: [https://studme.org/31883/menedzhment/metody\\_situatsionnogo\\_analiza](https://studme.org/31883/menedzhment/metody_situatsionnogo_analiza) (дата звернення 01.05.2018) – Методы ситуационного анализа.

31. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерчук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 40 с. – (підручник).

32. Ситуаційний аналіз [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: [https://studme.org/34196/menedzhment/situatsionnyu\\_analiz](https://studme.org/34196/menedzhment/situatsionnyu_analiz) (дата звернення 01.05.2018) – Ситуаційний аналіз.

33. Кошуняєва Н. В. Теорія Масового Обслуговування (практикум по вирішенню задач) / Н. В. Кошуняєва, Н. Н. Патронова. – Архангельськ: КИРА, 2013. – 108 с. – (Ф7). – (9407/12).

34. Матвійчук А. В. Моделювання фінансової стійкості підприємств із застосуванням теорії нечіткої логіки, нейронних мереж і дискримінантного аналізу / А. В. Матвійчук. – Київ: НАН України, 2010. – 23 с.

35. Кластерний аналіз [Електронний ресурс] // stud.com.ua. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [http://stud.com.ua/63647/marketing/klasterniy\\_analiz](http://stud.com.ua/63647/marketing/klasterniy_analiz)

36. Про затвердження Правил приєднання електроустановок до електричних мереж. [Електронний ресурс]; - Офіційний портал Верховної ради України – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0236-13>

37. Бурбело М. Й. Математичні задачі електроенергетики. Математичне моделювання електропостачальних систем / М. Й. Бурбело. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 186 с.

38. Втрати потужності та енергії в лініях. [Електронний ресурс]; - Студентський інтернет портал – Режим доступу: [http://studopedia.com.ua/1\\_8883\\_vtrati-potuzhnosti-ta-energii-v-liniyah.html](http://studopedia.com.ua/1_8883_vtrati-potuzhnosti-ta-energii-v-liniyah.html)

39. Поняття про втрату напруги у проводах ліній електропередач. [Електронний ресурс]; - Студентський інтернет портал – Режим доступу: [http://studopedia.com.ua/1\\_81041\\_ponyattya-pro-vtratu-naprugi-u-provodah-liniy-elektroperedach.html](http://studopedia.com.ua/1_81041_ponyattya-pro-vtratu-naprugi-u-provodah-liniy-elektroperedach.html)

40. Інформація щодо трансформаторних підстанцій Бориспільського РП ПрАТ «Київобленерго» станом на 01.08.2017 [Електронний ресурс]: ПрАТ «Київобленерго» : [Офіційний портал]: - Режим доступу: <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=56> - Вільний. – Інформація щодо трансформаторних підстанцій